FUNDAMENTOS DE

BIOFILOSOFÍA

MARTIN MAHNER • MARIO BUNGE



filosofía



traducción de
MARIANO MOLDES

FUNDAMENTOS DE BIOFILOSOFÍA

por
MARTIN MAHNER
MARIO BUNGE





portada de maría luisa martínez passarge

primera edición en español, 2000

isbn 968-23-2275-8

primera edición en inglés, 1997

título original: *foundations of biophilosophy*

ÍNDICE

SÍMBOLOS ESPECIALES

$\neg p$ *no-p*

$p \;\&\; q$ *p y q* (conjunción)

$p \vee q$ *p o q* (o ambos; disyunción)

$p \Rightarrow q$ *si p, entonces q* (implicación)

$p \Leftrightarrow q$ (p *sii* q) *si p entonces q, y viceversa* (*p si y sólo si q*)

$A \therefore B$ las premisas A *llevan a* la conclusión B (B se sigue de A)

Px el individuo x tiene la propiedad P

Pxt el individuo x tiene la propiedad P en el tiempo t

$(\forall x)Px$ *Para todo x: x* tiene la propiedad P (abreviado: *Todos los x* son P)

$(\exists x)Px$ *Para algún x: x* tiene la propiedad P (*Al menos un x* es un P)

$\{x \mid Px\}$ el conjunto de objetos x tal que x posee la propiedad P (abreviado: el conjunto de objetos que poseen la propiedad P)

$=_{df}$ idéntico por definición

$\varnothing$ el conjunto vacío

$x \in A$ el individuo x es un elemento (o miembro) del conjunto A (el objeto x pertenece al conjunto A, o x se halla en A)

$x \notin A$ el individuo x *no pertenece al* conjunto A

$A \subseteq B$ el conjunto A *se halla incluido en*, o es *igual* a, el conjunto B

$A \subset B$ el conjunto A *se halla propiamente incluido* en el conjunto B (A se halla incluido en, pero *no es igual* a, el conjunto B)

$A \cup B$ la *unión* de los conjuntos A y B (el conjunto de los objetos en A o en B)

$\bigcup_{i=1}^{n} A_i$ la *unión* de los conjuntos A_i, donde $i = 1, 2, ..., n$ (es decir, $A_1 \cup A_2 \cup ... \cup A_n$)

$A \cap B$ la *intersección* o *solapamiento* de los conjuntos A y B (el conjunto de individuos en *A y B*)

$\bigcap_{i=1}^{n} A_i$ la *intersección* de los conjuntos A_i, donde $i = 1, 2, ..., n$ (es decir, $A_1 \cap A_2 \cap ... \cap A_n$)

$A - B$ la diferencia entre los conjuntos A y B (el conjunto de los objetos en A pero no en B; el conjunto A sin el conjunto B)

$\langle a, b\rangle$ el *par ordenado* de los individuos a y b

$\langle a, b, ..., n\rangle$ el *conjunto ordenado* de n elementos (una n-upla)

$A \times B$ el *producto cartesiano* de los conjuntos A y B (el conjunto de pares ordenados $\langle a, b\rangle$, donde a pertenece a A y b pertenece a B)

2^A el *conjunto potencia* (el conjunto de todos los subconjuntos) del conjunto A

$\overline{A}$ el *conjunto complemento* del conjunto A (los objetos que no pertenecen a A)

Rxy los individuos x e y se R-relacionan

$x \sim_R y$ el individuo x es equivalente al individuo y en el respecto R
$f: A \to B$ la *función* f que mapea al conjunto A en el conjunto B
$f(x)$ el *valor* de la función f en x
N el conjunto de los *números naturales*
Z el conjunto de los *números enteros*
R el conjunto de los *números reales* (la *recta real*)
$\mathbf{R}^+$ el conjunto de los *números naturales positivos*
$a \sqsubset b$ la cosa *a es parte de* la cosa *b*
$a \lhd b$ el sistema *a es un subsistema* del sistema *b*

PREFACIO

A lo largo de los tres últimos decenios, la filosofía de la biología emergió de la sombra de la filosofía de la física para convertirse en una respetable y próspera subdisciplina filosófica. Mientras muchas áreas de la filosofía de la biología aún están agitadas por la controversia –lo que no debería constituir sorpresa en una disciplina filosófica– en otras se puede observar claramente la formación de opiniones mayoritarias. Sterelny (1995) habla incluso de consenso emergente respecto de ciertos temas, tales como el problema de la especie.

Obviamente allí donde hay una opinión mayoritaria o corriente principal habrá sin embargo también opiniones minoritarias. Es muy posible que este libro represente un espécimen de las últimas. Por ejemplo, defenderemos la tesis de que el concepto de evolución sólo tiene sentido si las especies son clases inmutables antes que individuos mutables. En otras palabras, argumentaremos que las especies no evolucionan y, lo que es de máximo interés (aunque hay más), es que la unidad de la evolución es el organismo y no la población, mucho menos la especie. (No hay aquí promesa alguna para los creacionistas: nuestra posición es estrictamente naturalista.) Más aún, sostendremos que en biología no hay ninguna explicación teleológica genuina y que no hay nada guiando el desarrollo que se asemeje a un programa genético. También rechazaremos las interpretaciones neopositivista y semántica de las teorías científicas, así como el programa fuerte de Vida Artificial, y también las afirmaciones de que la termodinámica y la teoría de la información son útiles en biología evolutiva.

Algunas de estas ideas pueden sonar no sólo provocativas sino simplemente erróneas. Después de todo, no es raro oír que quienes no están de acuerdo con una opinión determinada simplemente no la entienden: el esquema de rechazo es del tipo "Usted es un esencialista; sencillamente no entiende el pensamiento poblacional". (Por supuesto, en algunos casos el reproche es válido.) Por lo tanto, si uno elige desviarse de la ortodoxia será mejor esforzarse en presentar un buen caso para sus herejías. Primero, en vez de limitarse a ser destructivo deberá ser constructivo siempre que resulte posible. En otras palabras, no sólo deberá criticar la opinión predominante sino también tratar de proponer alternativas. Segundo, tales alternativas deberán ser viables, esto es, consistentes con el conocimiento biológico sólido. Tercero, las alternativas no deberán ser erráticas sino estar formuladas de una manera sistemática. Por último, pero no por eso menos importante, será de gran ayuda contar con un sistema filosófico completamente desarrollado en el cual anclar la propia filosofía de la biología. En pocas palabras, la propia postura deberá ser coherente y formar una totalidad sistemática y comprensiva que le permita a uno dar una mirada renovada a la biología y a la filosofía. Ésta es, entonces, la ambiciosa meta de este libro: esbozar los fundamentos

de una nueva filosofía de la biología que será de interés tanto para los biólogos como para los filósofos.

A fin de posibilitar tal posición sistemática, así como para exponer nuestro *fundamentum argumentationis*, debimos escribir la primera parte del libro, bastante extensa, que trata de ontología, semántica y epistemología generales. Puede utilizarse como una introducción general a la filosofía de la ciencia. Se basa en la obra filosófica del mayor de los autores, cuyo contenido ha sido modificado siempre que fue necesario para acomodarse mejor al específico y variado dominio de las ciencias biológicas. Aunque la mayoría de la parte I es indispensable para seguir las discusiones en la parte II, no haremos uso explícito de todos los conceptos introducidos en la parte I. Más bien, se mencionan o aclaran algunas nociones a fin de suministrar un cuadro coherente de nuestra filosofía. El punto es que aun quienes estén en desacuerdo con nuestra filosofía deberían poder admitir que hay al menos una posición coherente, que puede ser discutida racionalmente a la luz de la biología contemporánea. Otras nociones se explican para justificar por qué no hacemos (o no podemos hacer), tanto uso de ellas como podrían esperar muchos colegas filósofos. Por ejemplo, a nuestro juicio la noción de probabilidad a menudo se usa incorrectamente en la filosofía de la ciencia, y por lo tanto en la biofilosofía, ya que involucra interpretaciones ilegítimas del cálculo de probabilidades. En particular, no utilizamos las nociones de causalidad probabilística y explicación probabilística. Tampoco nos involucramos en ninguno de los juegos de probabilidad bayesianos de moda entre tantos filósofos –aunque no entre matemáticos o científicos.

En la parte II, el sistema filosófico introducido en la parte I se aplica a algunos problemas comunes en la filosofía de la biología. No hace falta decirlo: fuimos selectivos con los temas que queríamos tratar. Las razones de nuestra selectividad son tres. Primero, elegimos puntos tales como el problema de la especie y la cuestión de la(s) unidad(es) de la evolución, acerca de los cuales nuestra opinión difiere fundamentalmente de la que tiene la mayoría de nuestros colegas. Segundo, seleccionamos temas como el problema de la naturaleza de la vida y la biología del desarrollo, descuidados de alguna manera en filosofía o en biología. Asimismo, dejamos a un lado en gran medida los temas más en boga, tales como genética de poblaciones, biología molecular y sociobiología. Sin embargo, debería resultar fácil inferir nuestra opinión en esos temas. Tercero, elegimos algunos temas tales como la cuestión de la unidad de la selección, que necesitaban sólo algunas modificaciones menores en lugar de reparaciones fundamentales. (Esto último ilustra, incidentalmente, que no todos nuestros puntos de vista se desvían de la corriente mayoritaria.) Finalmente, el interés personal nunca debe descartarse como fuente de selectividad: la investigación es siempre personal, aun cuando sus resultados no lo sean.

Cuando comenzamos a escribir este libro pronto nos dimos cuenta de que no había progreso posible más allá de cierto nivel de análisis sin un uso (moderado) de algunas herramientas formales simples, como la lógica matemática elemental y la teoría de los conjuntos básica. Sin embargo, el lector no familiarizado con ta-

les herramientas formales también debería ser capaz de seguir el curso general de la argumentación. Es más, a fin de impedir que este libro creciera de manera desordenada decidimos dar por sabido un conocimiento elemental de hechos y conceptos biológicos. Por ejemplo, no explicaremos qué es un cigoto o un amniota, ya que cualquier buen diccionario de biología hará el trabajo. Finalmente, también presuponemos algún conocimiento básico de los principales temas de la filosofía de la biología. Por ejemplo, será de ayuda tener una mínima idea de cuáles son los problemas concernientes a la explicación funcional, las unidades de la selección y la especie biológica. (Para una revisión rápida y accesible de los principales temas en filosofía de la biología, véase Ruse, 1988.) En suma, aunque tal vez digerible para el principiante laborioso, este libro está dirigido al lector avanzado, por ejemplo el filósofo con conocimiento biológico básico o el biólogo con intereses filosóficos. Por lo tanto, puede usarse para los cursos avanzados y de posgrado en la materia, así como para el estudio independiente.

Puesto que hemos intentado concebir una biofilosofía *sistemática*, los capítulos de este libro deben leerse en la secuencia dada, aun si no se está interesado en ciertos puntos. (El lector con pocas inclinaciones formales podrá saltarse el capítulo sobre semántica.) Por un lado, antes de abordar la parte II es necesario tomar nota de las cuestiones filosóficas fundamentales que se delinean en la parte I. Por otro, al proponer ciertos postulados y definiciones recurriremos a postulados y definiciones introducidos en los capítulos y secciones precedentes. En otras palabras, adoptamos un formato axiomático (muy moderado), de manera tal que los capítulos no pueden ser completamente entendidos si se leen independientemente.

Más aún, la personalidad de los autores no les permitió apagar su sistema límbico o siquiera desconectarlo del neocórtex mientras filosofaban. En otras palabras, aunque hicimos lo posible para ocultar el hecho de que somos científicos y filósofos apasionados, en ocasiones es posible que no hayamos podido filosofar completamente *sine ira et studio*. Tal vez el lector crítico pueda perdonarnos, entonces, si quedan trazas de sarcasmo o polémica en unas pocas frases o pasajes. Pero es posible que otros disfruten de un poco de condimento aquí y allá.

Finalmente, una palabra sobre los autores. Ambos son científicos que se convirtieron en filósofos. El menor de ellos (M.M.) hizo su doctorado en zoología y el mayor (M.B.) en física teórica. El orden de autoría que hemos adoptado refleja la distribución de la carga de trabajo.

AGRADECIMIENTOS

Un agradecimiento especial a nuestro amigo Michael Kary, con quien tuvimos muchas discusiones estimulantes. Además, tuvo la amabilidad de preparar las figuras. También damos las gracias a los siguientes colegas por sus discusiones y sugerencias: Peter Ax (Georg-August-Universität Göttingen), Graham Bell (McGill University), Lina Bettucci (Universidad de la República, Montevideo), Richard Lewontin (Harvard University), Luis Marone (Universidad de Cuyo), Norman Platnick (American Museum of Natural History), el fallecido Osvaldo Reig (Universidad de Buenos Aires), Rolf Sattler (McGill University), Otto Solbrig (Harvard University) y Walter Sudhaus (Freie Universität Berlin.) No hace falta decirlo, esto no implica que estén de acuerdo con nuestras opiniones, y no debe responsabilizarse a ninguno de ellos por nuestros errores.

También agradecemos el permiso de Kluwer Academic Publishers para usar varios pasajes cortos del *Treatise on Basic Philosophy* (1974-1989), del mayor de los autores.

El menor de los autores agradece a la Deutsche Forschungsgemeinschaft (Bonn, Alemania) por financiar su investigación mientras trabajaba con el mayor en la Unidad de Fundamentos y Filosofía de la Ciencia de la McGill University durante el período 1993-1996.

Por último, pero no por ello menos importante, quisiéramos dar las gracias a Jean von dem Bussche y a Ursula Gramm de Springer-Verlag (Heidelberg) por su constructiva y agradable cooperación.

PARTE I

FUNDAMENTOS FILOSÓFICOS

1 FUNDAMENTOS ONTOLÓGICOS

1.1 METAFÍSICA Y CIENCIA

La metafísica (ontología o cosmología filosófica) es una rama tradicional de la filosofía, y como tal no necesita justificación a los ojos del filósofo a menos que se trate de un positivista. Sin embargo, algunos científicos aún pueden sospechar acerca de la relevancia de la metafísica con respecto a su disciplina. Después de todo, sigue siendo popular equiparar la metafísica con la religión, la especulación desenfrenada o algún discurso ininteligible acerca del Ser, la Nada, *Dasein*, la deconstrucción, etc. Así, resulta comprensible que sigan existiendo antimetafísicos entre los científicos, y hasta el filósofo ocasional expresa sus dudas sobre si la metafísica puede ser de utilidad alguna para la biología (p. ej. van der Steen, 1996: 121.) Sin embargo, el hecho de que algunas metafísicas sean erróneas o inútiles no vuelve objetable a toda la metafísica: después de todo, cualquier creencia o acción humanas incluyen algunas presuposiciones metafísicas. Por ejemplo, la mayoría de nuestros actos presupone que existe en efecto un mundo externo al sujeto cognoscente o actuante. De esta manera, tal como se observó acertadamente en muchas ocasiones, un antimetafísico sólo es alguien que sostiene creencias metafísicas primitivas y no examinadas.

Sin embargo, algunos biólogos interesados en la armazón metafísica de su disciplina saben desde hace mucho tiempo que hay, obviamente, problemas ontológicos en la ciencia (p. ej., Woodger, 1929; Beckner, 1964.) Después de todo, la literatura biofilosófica abunda en publicaciones sobre, por ejemplo, la "ontología de las especies", la "metafísica de la evolución", etc. Aun así, ¿qué es exactamente la metafísica u ontología?

Como es de esperarse que cada filósofo conteste a esta pregunta en forma diferente, explicaremos brevemente qué entendemos por "metafísica". Con Peirce (1892-1893), Montagu (1925), Woodger (1929) y algunos más, consideramos la metafísica como *ciencia general*. En otras palabras, la ontología es la ciencia aplicable a la totalidad de la realidad: la que estudia los rasgos más generales de cada modo del ser y el devenir. Intenta responder preguntas generales como: ¿Qué es la materia? ¿Qué es un proceso? ¿Qué es el espacio-tiempo? ¿Hay propiedades emergentes? ¿Se ajustan todos los eventos a alguna(s) ley(es)? ¿Hay especies naturales? ¿Qué hace real a un objeto? ¿Hay causas finales? ¿Es real el azar?

Si la ontología es ciencia general, entonces las ciencias fácticas específicas, o ciencias de la realidad son *metafísicas especiales* u *ontologías regionales*. En nuestra opinión tanto la ciencia como la ontología hacen preguntas sobre la naturaleza de las cosas pero, mientras la ciencia lo hace en detalle y produce así teorías abiertas al escrutinio empírico, la ontología es extremadamente general y sólo es

comprobable por su coherencia con la ciencia. En consecuencia, no hay una brecha, y mucho menos un abismo, entre la ciencia y la ontología. Es más, algunos de los problemas científicos más interesantes son al mismo tiempo problemas metafísicos. Ejemplos: ¿Qué es la vida? ¿Qué es una especie? ¿Qué es la mente?

Dependiendo de los principios metafísicos que el científico dé por sentados, la investigación científica será guiada o desviada por ellos. Por ejemplo, mientras que una ontología materialista descartará las fuerzas inmateriales, tales como la entelequia y el *élan vital*, una metafísica idealista las aceptará. Compete al historiador de la ciencia desenterrar los postulados ontológicos de la ciencia, y al filósofo de la ciencia formularlos claramente, justificarlos o criticarlos, y eventualmente sistematizarlos. Ésta es, pues, la tarea de la ontología científica en general: desenterrar, limpiar, generalizar y unir en una totalidad (sistema) coherente las ideas metafísicas usadas realmente en la investigación científica.

Algunos de los problemas ontológicos en la filosofía de la biología pueden ejemplificarse en la siguiente cita:

> Los genes, organismos, demes, especies y taxones monofiléticos forman un sistema jerárquico anidado de individuos que tiene que ver con el desarrollo, retención y modificación de la *información* guardada, básicamente, en el genoma. Pero al mismo tiempo hay una jerarquía paralela de individuos ecológicos anidados -proteínas, organismos, poblaciones, comunidades y sistemas bióticos regionales- que refleja la organización *económica* y la integración de los sistemas vivientes. Los procesos dentro de cada una de estas dos jerarquías de procesos, más las interacciones entre las dos jerarquías, producen a mi juicio los eventos y patrones que llamamos evolución (Eldredge, 1985a: 7, cursivas en el original).

Esta cita es una rica mina de problemas ontológicos, una muestra incompleta de algo que se lee de esta manera: ¿Qué es un individuo? ¿Son realmente individuos las entidades de referencia? ¿Qué es un sistema? ¿Qué es una jerarquía? ¿Qué es la información? ¿Todos los sistemas de la jerarquía económica son sistemas vivientes? ¿Qué constituye la integración y la cohesión de un sistema? Como a las dos jerarquías se les denomina en primer lugar 'jerarquías de individuos', y más tarde 'jerarquías de procesos', ¿cuál es la diferencia, si es que hay alguna, entre un individuo y un proceso? ¿Los procesos son individuos, sistemas o ni lo uno ni lo otro? ¿Pueden interactuar las jerarquías, y en caso afirmativo, cómo?

Aunque en biofilosofía el debate sobre la metafísica de la evolución es difundido y enconado, en nuestra opinión los biofilósofos no han contribuido mucho a elucidar conceptos ontológicos como los antes listados. Una razón para afirmar esto es que el análisis ontológico de tales conceptos en la biofilosofía contemporánea apenas va más allá de la aplicación de dos criterios de individualidad o realidad: restricción espaciotemporal e irrestricción espaciotemporal. Puesto que no podíamos estar satisfechos con este nivel de análisis, tuvimos que escribir el presente capítulo sobre ontología, que se inspira libremente en el intento realizado en el pasado por el mayor de los autores para sistematizar los supuestos metafísicos de la ciencia (Bunge, 1977a, 1979a, 1981a).

1.2 COSA Y CONSTRUCTO

Aunque esta noción ha sido muy vilipendiada por filósofos tradicionales e incluso contemporáneos (p. ej., van Fraassen, 1980; Feyerabend, 1981; Putnam, 1983), comenzamos con una suposición básica de realismo *ontológico*:

POSTULADO 1.1. El mundo (o universo) existe por sí mismo (es decir, haya o no investigadores).

Este axioma no es demostrable, y nada dice acerca de si el mundo puede ser conocido, y en caso afirmativo, en qué medida. (Afirmar que sí puede conocerse, al menos en parte, es una tesis de realismo *epistemológico*.) No afirma ni niega que al menos una parte del mundo puede ser influida o cambiada por los investigadores. Sin embargo, el postulado implica un rechazo al constructivismo ontológico, según el cual el mundo es creado o producido enteramente por los investigadores (individual o colectivamente.) Sostenemos que, al igual que todos los científicos, los biólogos practican el realismo y no el constructivismo ontológico. Por ejemplo, dan por hecho que los dinosaurios habrían existido incluso si los humanos nunca hubieran evolucionado. Y tanto el biólogo experimental como el etólogo deben tomar nota de cómo y de qué manera sus observaciones o experimentos ejercen alguna influencia sobre los organismos que se estudiarán, algo que presupone nuevamente la distinción investigador-objeto.

El siguiente problema es: ¿Qué tipo de objetos existen (realmente) en el mundo? Postulamos que todo hecho involucra alguna cosa concreta (o material): es un estado de una cosa o un cambio de una cosa. (No existen estados o cambios en sí mismos; tampoco hay hechos abstractos.) Una cosa concreta puede ser imperceptible, como un electrón o una biosfera, o tangible como una piedra o una planta. La característica principal de todas las cosas materiales es su mutabilidad: todas están en flujo. En cambio, de los objetos conceptuales (o abstractos), tales como números o teorías, no puede decirse que sean mutables: sólo los cerebros que los piensan están sujetos a cambio.

En esta interpretación, cualquier colección de objetos puede dividirse en dos conjuntos mutuamente disjuntos: una clase de objetos materiales o concretos (o sea cosas) y su complemento, una clase de objetos abstractos, conceptuales o ideales (o sea constructos.) Así resumimos esto:

POSTULADO 1.2. Todo objeto es o una cosa o un constructo, es decir: todo objeto pertenece a alguna de estas dos clases, y ninguno pertenece a ambas.

Aunque de acuerdo con este postulado no existen los objetos mixtos, esto es, objetos compuestos por cosas e ideas, sí existen objetos concretos tales como los grupos humanos, en los que ciertas ideas "imperan" en virtud de ser sostenidas (pensadas y creídas) por los miembros de dicho grupo. Es más, hay cosas artificiales, tales como las palabras escritas, los dibujos y las gráficas, que pueden significar o representar ideas.

El postulado 1.2 es un axioma de dualismo *metodológico*, que no debe confundirse con un axioma de dualismo metafísico ya que no estamos sosteniendo que haya cosas reales de dos tipos, es decir, cosas (materiales) propiamente dichas e ideas (inmateriales.) Por el contrario, adoptamos:

POSTULADO 1.3. El mundo está compuesto exclusivamente por cosas (es decir, objetos concretos o materiales.)

Es ésta una tesis central del materialismo. Afirmamos que los objetos conceptuales, útiles u ociosos, científicos o míticos, son *ficciones*, y no entidades reales. Esto es, *fingimos* que existen los constructos, o sea creaciones de la mente humana, que deben distinguirse no sólo de las cosas (como las palabras) sino también de los procesos cerebrales individuales y las circunstancias sociales (más en los capítulos 3 y 6). Como los constructos son ficciones, no forman parte del mundo real aun cuando formen parte de nuestras representaciones de este último. En consecuencia, debemos alertar contra los pecados duales de la reificación y la ideificación.

La *reificación* es la incorrecta concepción de propiedades, relaciones o conceptos como entidades dotadas de existencia autónoma. Un ejemplo clásico es la idea de que la enfermedad es una entidad que el paciente lleva, y puede transmitir a otro. Ejemplos más recientes son la idea estructuralista de que las estructuras preceden a las cosas estructuradas correspondientes; o que los procesos pueden desprenderse de las cosas, o que las preceden (un conocido postulado de la metafísica de procesos), así como la idea en boga según la cual el desarrollo consiste en la corporización de un "programa" o de "instrucciones" genéticas.

La contraparte de la reificación puede denominarse *ideificación*, que consiste en concebir cosas o procesos materiales como si fueran ideas que existen por sí mismas. Ejemplos clásicos son la concepción platónica de las ideas como desprendidas de los cerebros pensantes (incluido el Mundo 3 de Popper) o de la ciencia como un sistema de ítems de conocimiento, procedimientos y pautas de comportamiento. Aclaremos que es permisible –y para hacer matemática y lógica es indispensable– fingir que las ideas están separadas de los cerebros, a fin de enfocarse en ciertos rasgos de los conceptos, tales como su forma y significado, mientras se ignora cualquier otra cuestión, en particular las circunstancias del pensador. Sin embargo, éste es sólo un ejemplo de lo que puede denominarse *abstracción metodológica*: debemos tener en mente que semejante concepción de los conceptos en sí es una ficción.

Otra consecuencia del dualismo metodológico es que los objetos concretos (cosas) carecen de propiedades conceptuales, en particular lógicas y matemáticas. Lo cierto es que las matemáticas pueden tratar algunas de nuestras ideas sobre el mundo, una vez que éstas fueron separadas de sus referentes fácticos. En otras palabras, el mundo no es matemático pero sí algunas de nuestras ideas sobre él. Por lo tanto, las matemáticas y la lógica son ontológicamente no-comprometidas o neutrales (véanse Nagel, 1956; Bunge, 1974c, 1985a).

Cualquier concepto o enunciado que viole el postulado 1.2 será declarado *metafísicamente mal formado*. La atribución de propiedades conceptuales a cosas concretas y la atribución de propiedades sustanciales a constructos caen en la categoría de los conceptos y enunciados metafísicamente mal formados. Ejemplo de tales desajustes metafísicos son: "la naturaleza es contradictoria", "una biopoblación es un conjunto de organismos", "las especies son las unidades de la evolución", "la rana-tortuga es una especie minadora que vive de las termitas", "los linajes evolucionan", "es difícil deducir la conducta humana a partir de la teoría de la evolución", "la morfogénesis está guiada por principios matemáticos", "los genotipos homocigotos producen sólo un tipo de gameto" y "la selección es un vector con dirección e intensidad".

Todos usamos enunciados metafísicamente mal formados porque a menudo resultan *façons de parler* convenientes. Por ejemplo, hablamos de una *especie* minadora en vez de *animales* minadores que pertenecen a una especie. Aunque tales hábitos de lenguaje, además de facilitar la escritura y la lectura, son inocuos en la mayoría de los contextos, en otros resultan engañosos. Por un lado, si no se les reconoce como lo que en realidad son, pueden representar una fuente de confusión conceptual. Ejemplos de tales confusiones con respecto al concepto de especie han sido analizados por Cracraft (1989), y encontraremos muchas de ellas en el curso de nuestros análisis. En cambio, si estos desajustes metafísicos ocurren en los pasajes centrales de un trabajo en el cual se supone que deben elucidarse y definirse los conceptos clave, entonces el filósofo tiene derecho a sospechar que son indicadores de una ontología subyacente defectuosa o de una falta de profundidad teórica o filosófica. De cualquier manera, en ambos casos la tarea del filósofo de la ciencia es desenterrar, analizar, criticar y si es posible reparar tales fallas.

Ahora demos un breve vistazo a la noción de cosa. El concepto básico o general de cosa es de un individuo sustancial desnudo, esto es una entidad desprovista de toda peculiaridad (propiedad.) Es posible definirla como algo que puede unirse a otro individuo para formar un tercer individuo. (Para una formalización de este concepto véase Bunge, 1977a). Por supuesto, las cosas reales tienen muchas propiedades adicionales, como la energía. (Ya que algunas personas sostienen que la energía es una sustancia de la misma categoría que la materia, parece importante enfatizar que, según la física, la energía es una *propiedad* de las cosas. Es más, es una propiedad *universal* en *todas* las cosas, y sólo las cosas poseen energía. La sustancia básica de que el mundo está hecho no es, como puede leerse a menudo, "materia-energía", un término que sugiere que la energía podría convertirse de alguna manera en materia o viceversa. Las interpretaciones como éstas parecen descansar sobre una mala comprensión de la famosa fórmula de Einstein, "$E = mc^2$". La correcta interpretación de esta fórmula es: la cantidad de energía *de una cosa* es igual a la cantidad de *su masa* multiplicada por el cuadrado de la velocidad de la luz en el vacío. Esto es, la fórmula sólo se aplica a las cosas dotadas de una masa. Sin embargo, existen cosas sin masa, tales como los fotones y campos eléctricos, que poseen energía. En consecuencia, debemos alertar contra la confusión de la materia o la materialidad con la masa. Es más, como veremos

en breve, estrictamente hablando la materia no es material; sólo lo son las cosas concretas.)

Volviendo de la física a la metafísica, una cosa real es, pues, un individuo sustancial dotado de todas sus propiedades. A fin de subrayar que las propiedades no existen separadamente de las cosas, formulamos la:

DEFINICIÓN 1.1 Sea x un individuo sustancial desnudo y $P(x)$ la colección de todas las propiedades de x (conocidas o desconocidas.) Entonces, el individuo con sus propiedades es llamado la *cosa* (o *entidad* u *objeto concreto, material* o *real*) X; es decir, $X =_{df} \langle x, \cdot(Px)\rangle$.

Nótese que aunque normalmente un pequeño número de las propiedades de una cosa bastará para *distinguirla* de otras entidades, nada menos que la totalidad de sus propiedades será suficiente para *individualizarla*, o sea, volverla ónticamente distinta de toda otra entidad.

1.3 PROPIEDADES

1.3.1 *Propiedades propiamente dichas*

Aunque las propiedades no pueden ser desprendidas (físicamente) de las cosas que las poseen, podemos distinguirlas (conceptualmente.) En particular, resultará útil distinguir varias clases de propiedades. Una primera distinción importante se da entre las propiedades intrínsecas y las relacionales. Una propiedad *intrínseca* de una cosa es aquella que la cosa posee sin tener en cuenta otras cosas, aun si fue adquirida bajo la acción de otras cosas. Por ejemplo, la composición y la masa son propiedades intrínsecas; también, la propiedad de estar vivo. En contraste, una propiedad *relacional* de una cosa es una que el individuo posee en virtud de su relación con otras cosas. Ejemplos son el peso (en un campo gravitacional dado), la parentalidad, la condición de "adaptado", ser hospedero de un parásito (o viceversa), o ser un macho (o hembra) alfa.

Con Galileo y Locke, distinguimos también entre propiedades *primarias* y *secundarias* (o *fenoménicas.*) Mientras que las propiedades primarias son objetivas o independientes del sujeto, y pueden ser intrínsecas o relacionales, todas las propiedades secundarias tales como el color y el volumen de sonido son relacionales. Más precisamente, el color es la longitud de onda *tal como la percibe algún sujeto*, y el volumen de sonido es la intensidad de sonido *percibida*. En pocas palabras, sin organismo capaz de sentir no hay propiedad fenoménica. Nótese que, en nuestra opinión, las propiedades secundarias no son puramente objetivas ni puramente subjetivas, ya que son poseídas por el sistema sujeto-objeto en vez de cualquiera de los componentes por separado. (Sólo las alucinaciones son completamente subjetivas, por más que su contenido dependa de experiencias previas.) Nótese también que la distinción intrínseco/relacional ocurre en la misma definición de "objetividad", así como en el principio de que la física, la quí-

mica y la biología estudian sólo propiedades primarias, dejando las secundarias a la psicología.

Otra división de las propiedades se da entre las propiedades esenciales y accidentales. Una propiedad *esencial* de una cosa es aquella que la cosa pierde si es trasmutada en una cosa de otra clase o tipo. En cambio, una propiedad *accidental* representa una mínima diferencia, si la hay. Por ejemplo, poseer un cerebro (funcional) es esencial para ser un ser humano, mientras que usar una camisa verde o incluso ser un biólogo no lo es. Una propiedad accidental de una cosa no se encuentra necesariamente conectada con alguna otra propiedad de la cosa, mientras que toda propiedad esencial se relaciona legalmente con por lo menos otra propiedad diferente. Así, no hay propiedades esenciales erráticas: todas vienen en haces naturales o sistemas de propiedades (véase sección 1.3.4).

Otra partición de las propiedades se da entre las *cualitativas* y las *cuantitativas*. Las primeras no admiten grados, mientras que las segundas sí. Ejemplos de propiedades cualitativas son la preñez, la parentalidad, la liquenización y el estar vivo. Ejemplos de propiedades cuantitativas son la masa, el peso, la longitud, la temperatura, la edad, la aptitud y la densidad de población.

Finalmente, resulta útil distinguir entre las propiedades manifiestas y las disposiciones (o propensiones o potencialidades.) Una propiedad *manifiesta* es aquella poseída por una cosa en toda circunstancia mientras la cosa exista y siga siendo del mismo tipo. Las disposiciones pueden dividirse en disposiciones causales y propensiones casuales. Una *disposición causal*, tal como la solubilidad, la conductividad eléctrica, la viabilidad o la reproducibilidad, es la propensión a adquirir ciertas propiedades manifiestas bajo ciertas circunstancias. Una *propensión casual* es la disposición a adquirir ciertas propiedades manifiestas con una cierta probabilidad, dependiendo (o no) de las circunstancias. Esto es, mientras que en el caso de las disposiciones causales la realización requiere que la cosa en cuestión se una a otra entidad real, en el caso de las propensiones casuales la realización puede tener lugar independientemente de cualquier circunstancia externa, esto es, puede ser incausada, tal como en la desintegración radiactiva o en la activación espontánea (estímulo-independiente) de neuronas.

1.3.2 *Propiedades y predicados*

Mientras que los matemáticos, los idealistas, los realistas ingenuos y los antirrealistas no distinguen entre las propiedades y los predicados, los realistas sí deben hacerlo, porque una propiedad de una cosa no puede ser separada de ésta: no hay propiedades sustanciales sin cosas, ni cosas sin propiedades (véase definición 1.1.) En contraste, un *predicado* (o *atributo*), si es atribuido (en forma verdadera o falsa) a una cosa concreta, es una representación conceptual de una propiedad de la cosa (Bunge, 1977a). Sin embargo, con unas pocas excepciones (Sober, 1982; Sober y Lewontin, 1982; Suppe, 1989:214), la mayoría de los filósofos no se preocupa de esta distinción.

¿Cómo se conceptualizan las propiedades? Las propiedades intrínsecas se representan mediante predicados unarios, mientras que las propiedades relacionales son conceptualizadas mediante predicados binarios, ternarios o, en general, predicados *n*-arios. (Nótese que el carácter *n*-ario de un predicado no es una propiedad de una propiedad, sino un predicado de segundo orden.) Esto último vale en particular para las propiedades secundarias, por lo que el ejemplo "es rojo" no es una "propiedad unaria" –*pace* Sober (1982.) En vez de eso, debe construirse como un predicado (al menos) binario: "*x* es rojo para el animal percipiente *y*".

Un predicado unario puede analizarse como una función que mapea un conjunto de cosas en un conjunto de proposiciones que incluyen al predicado en cuestión. Por ejemplo, el predicado "metaboliza" o abreviadamente M, es una función de la colección Ω de todos los organismos en la colección P de las proposiciones de la forma "*x* metaboliza", donde x pertenece a Ω. Más precisamente, $M: \Omega \to P$. Esto es, si b es un organismo (es decir, $b \in \Omega$), entonces el valor de M en b es $M(b)$ y debe leerse 'a b se le atribuye *M*idad'. Así, la proposición "*b* metaboliza" puede abreviarse como "*Mb*". Todas las propiedades cualitativas intrínsecas son representables como dichos predicados unarios. (Para detalles véase Bunge, 1974a, 1977a; más sobre nociones semánticas en el capítulo 2.)

Un predicado binario, por ejemplo "es homólogo con", es una función de pares ordenados de órganos (o cualesquiera subsistemas de un organismo) en el conjunto de las proposiciones de la forma "*x* es homólogo con *y*". (En símbolos obvios, $H: O \times O \to P$, donde $\times$ representa al producto cartesiano. Así, si b y c pertenecen a O, entonces $H(b, c)$ se lee 'se predica H del par $\langle b, c \rangle$'.) Un análisis algo más fino puede revelar que "es homólogo con" es un predicado ternario, que relaciona a las cosas homólogas x e y en el respecto r en el cual x e y son homólogas. H es ahora predicado de la terna $\langle b, c, r \rangle$. Un ejemplo bien conocido es el de las alas de los murciélagos y las alas de las aves, que son homólogos como *miembros anteriores*, no como alas. Este ejemplo confirma la necesidad de distinguir las propiedades de los conceptos que las representan. Mientras que las primeras son objetivas, los segundos dependen del estudioso y del nivel de análisis que adopte. En otras palabras, la misma propiedad de una cosa concreta puede hoy ser conceptualizada como un determinado atributo y más tarde, a la luz de nueva información o un análisis más profundo, como otro diferente.

Otra razón importante para establecer la distinción entre propiedad y predicado, que escapa necesariamente tanto al realista ingenuo como al antirrealista, es que no todos los predicados representan propiedades de cosas reales. Mientras para cada atributo existe otro atributo igual a la negación del primero, las cosas sólo tienen propiedades "positivas". Una cosa posee P o no posee P, pero no puede "poseer" no-P: la negación es *de dicto*, no *de re*. Por ejemplo, los platelmintos no piensan, pero esto no significa que ejerzan la función de no-pensar. La negación afecta a la proposición "los platelmintos piensan", no a la propiedad de pensar. En resumen, *pace* Russell (1918) y otros, no hay propiedades negativas.

Una consecuencia de esta distinción para la clasificación biológica es que los organismos no poseen caracteres "negativos", aunque en la sistemática tradicio-

nal hay grupos tales como los Apterygota (insectos primitivamente carentes de alas) e Invertebrata, caracterizados por atributos negativos, tales como "alas ausentes" o "vértebras ausentes". Sin embargo, como dichos atributos no se refieren a ninguna propiedad de los organismos en cuestión, los grupos resultantes no son naturales. De todas formas, atributos negativos tales como "abiótico" o "anaeróbico" resultan sin duda indispensables, si bien no en la clasificación, sí en nuestro discurso por razones comparativas.

Lo que vale para la negación también vale para la disyunción: no hay propiedades disyuntivas, aunque sí predicados disyuntivos. Por ejemplo, no hay tal cosa como la propiedad de estar vivo *o* muerto, aunque el predicado "está vivo o muerto" es perfectamente respetable. En resumen, en nuestro discurso los predicados negativos o disyuntivos ocurren sobre las cosas pero no representan propiedades reales de las cosas.

Otra razón para distinguir a los predicados de las propiedades es que mientras los primeros satisfacen una teoría (la lógica de predicados), las propiedades "satisfacen" leyes objetivas. (Más precisamente, mientras que el conjunto de los predicados tiene la estructura del álgebra de Boole, el conjunto de las propiedades sustanciales tiene la estructura de un inf-semirreticulado, que es una estructura matemática mucho más pobre que el álgebra de Boole; véase Bunge, 1977a.) Así, "Para todo x y toda P: si x es un P, entonces x es un P o x es un Q" [en símbolos: "$\forall x\ (Px \Rightarrow Px \vee Qx)$"], donde P y Q son predicados, es una fórmula de la lógica ordinaria, que afirma algo sobre los predicados y la implicación lógica, no sobre el mundo. En cambio, el enunciado "Un aumento en la concentración de la hormona x evoca la conducta y" afirma una relación fáctica (no lógica) entre dos propiedades de un animal: la concentración de hormona y la conducta. La ley lógica no se refiere a nada en particular, por lo que no puede verificarse empíricamente. La generalización fisiológica, en contraste, se refiere a individuos reales y puede ser confirmada o refutada por la observación.

1.3.3 *Propiedades genéricas e individuales*

Acabamos de distinguir entre una propiedad de una cosa y un atributo, predicado o función que representa la propiedad. Ahora bien, aunque no existen dos cosas exactamente idénticas, todas las cosas comparten algunas propiedades. Por ejemplo, en un tiempo dado todo organismo tiene alguna edad u otra, que puede representarse mediante una función tal como se explicó anteriormente. Decimos que la edad de un organismo es una propiedad *genérica*, mientras que la edad en particular de ese organismo es una propiedad *individual*. Una propiedad cuantitativa individual se representa mediante un número (o lista de números) en particular, en nuestro caso el valor de la función edad. En símbolos, $F(a, t) = n$, donde a es el nombre del individuo en cuestión, t el tiempo en el cual la propiedad es medida o calculada, y n el valor de F para a en t. En cambio, una propiedad cualitativa individual, tal como estar vivo, puede representarse mediante una variable

dicotómica, es decir, una que sólo puede tomar dos valores, tales como 1 (vivo) y 0 (muerto.)

La totalidad de las propiedades individuales de una cosa (en un cierto tiempo) constituye su individualidad o unicidad (en un cierto tiempo.) Es más, todas las cosas son únicas en el sentido de que no poseen, y no pueden poseer, exactamente las mismas propiedades individuales aunque puedan poseer las mismas propiedades genéricas. (Si dos cosas tuvieran exactamente las mismas propiedades individuales, es decir, si fueran estrictamente idénticas, serían una.) Así, dos organismos pueden poseer exactamente las mismas propiedades genéricas mientras que los valores de las últimas varían. Por ejemplo, aunque el patrón particular de huellas dactilares de todos y cada uno de los seres humanos es único, todos (o mejor dicho la mayoría de) los humanos comparten la propiedad genérica de tener *un* patrón de huellas dactilares. Esto significa problemas para los vitalistas metodológicos, que sostienen la autonomía y la unicidad metodológica de la biología, así como para los antiesencialistas, quienes sostienen que los organismos no pueden ser agrupados en clases de equivalencia. Más aún, ninguno de ellos puede referirse a la unicidad de los organismos para preparar su caso, a menos que se refiera explícitamente a la unicidad con respecto a la posesión de propiedades genéricas.

Ocasionalmente, los filósofos y los científicos hablan de propiedades de propiedades. Por ejemplo, podría decirse que el peso de un organismo (una propiedad cuantitativa genérica) tiene la propiedad de ser variable en el tiempo. Esto es, sin embargo, sólo una manera de decir que los organismos tienen un *peso variable*, que es una propiedad de ellos y no una propiedad de segundo orden. Concluimos que mientras que todo predicado tiene algunos predicados (de segundo orden), no hay propiedades sustanciales de segundo (o *n*-ésimo) orden. (En cambio, la lógica estudia los predicados de segundo orden o de órdenes superiores.)

Otra razón para hablar de propiedades de propiedades en la filosofía de la biología puede surgir de la ambigüedad de los términos 'carácter', 'rasgo' y 'característica', usados con los sentidos de "propiedad" y "parte" (o "componente" o "subsistema".) (Esta ambigüedad fue tratada por varios autores, como Woodger, 1929; Ghiselin, 1984; Colless, 1985; Fristrup, 1992.) Pero una parte de una cosa es una cosa, no una propiedad. Lo que sí es una propiedad (de un todo) es la posesión de una cierta parte. Por ejemplo, cada pelo individual en el cuerpo de un mamífero es una parte de éste. La propiedad correspondiente es, sin embargo, "tener pelo" o "pilosidad". Aún así, ¿estas propiedades no tienen propiedades de segundo orden, tales como valor selectivo (Sober, 1981)? No, sólo las partes concretas de un organismo pueden tener valor selectivo. Esto es, en nuestra ontología el valor selectivo de un rasgo es una propiedad (relacional) del rasgo *qua* parte concreta de un organismo dado, no una propiedad del rasgo *qua* propiedad del organismo dado. En resumen, *pace* Sober, el valor selectivo no es una propiedad de una propiedad, aunque puede tratarse como un predicado de segundo orden en el discurso biológico.

Esta confusión también parece encontrarse en la raíz de la distinción entre ca-

racteres y estados de carácter en sistemática. Por ejemplo, si se hace referencia al color de ojos como un carácter, entonces se dice que este carácter viene en ciertos "estados" tales como marrón o azul. Sin embargo, tal como veremos en la sección 1.4, sólo las cosas pueden estar en ciertos estados, no las propiedades. Es más, el concepto de estado de una cosa se define por medio del concepto de propiedad. Esto es, estar en un determinado estado equivale a tener ciertas propiedades (individuales) en un momento dado. Así, lo que puede estar en un cierto estado es el ojo como subsistema concreto de un organismo dado; y el estado de este ojo comprende por supuesto una cierta pigmentación, y así, color. Por lo tanto, la expresión 'estado de un carácter' es engañosa.

Es más, es superflua porque no coincide con la distinción entre propiedades individuales y genéricas, aunque a primera vista sea similar a ella. De hecho, tanto caracteres como estados de carácter incluyen propiedades genéricas. Por ejemplo, tener ojos marrones es una propiedad genérica, ya que muchos animales la tienen. Como los sistemáticos están interesados sólo en las propiedades genéricas, no en las individuales (no les interesa lo que individualiza a un individuo sino lo que lo hace miembro de una clase de individuos equivalentes, o sea, un taxón), no es necesaria la noción de estado de un carácter. El sistemático sólo tiene uso para caracteres (organísmicos) *simpliciter*, representados por predicados referentes a propiedades genéricas de los organismos. (Para mayores críticas de la noción de estado de un carácter, véase Platnick, 1979 así como Mayr y Ashlock, 1991.)

1.3.4 *Leyes*

Suponemos que toda propiedad esencial está legalmente relacionada con alguna otra propiedad esencial o, en otras palabras, que todas las entidades "satisfacen" algunas leyes. Sin embargo, antes de que podamos introducir el concepto de ley, necesitamos el concepto de alcance de una propiedad, lo que hacemos en:

DEFINICIÓN 1.2 El *alcance* S de una propiedad es la colección de todas las cosas que poseen esa propiedad.

(Nótese que "alcance" es una noción ontológica definida sobre propiedades sustanciales, mientras que "extensión" es un concepto semántico definido sobre predicados. Así, este último se define para la negación y la disyunción, mientras que la primera no; véanse también secciones 2.2 y 7.2, así como Bunge, 1974b, 1977a)

DEFINICIÓN 1.3. Si P y Q son propiedades (esenciales) de cosas, entonces se dice que P y Q están *legalmente relacionadas*, si y sólo si $S(P) \subseteq S(Q)$ o $S(Q) \subseteq S(P)$.

En otras palabras, si los alcances de dos propiedades son coextensivos, o si el

alcance de una propiedad está incluido en el de otra, se dice que las dos propiedades están *legalmente relacionadas*. De una propiedad que no esté relacionada de esta manera con otra propiedad se dice que es *errática* o *ilegal*.

Las *leyes*, entonces, son relaciones constantes entre dos o más propiedades (Bunge 1967a, 1977a; Dretske 1977.) Se *representan* por medio de *enunciados legales*, esto es, proposiciones tales como "$S(P) \subseteq S(Q)$" o su recíproca, o equivalentemente "$(\forall x)Lx$" con L = "x posee $P \Rightarrow x$ posee Q" o su recíproca. El término 'ley' se refiere comúnmente a leyes y a enunciados legales. (Hasta donde sabemos, el primero en distinguir explícitamente las leyes de los enunciados legales fue Ampère, 1843.)

Ahora podemos formular la hipótesis de que no existen propiedades esenciales erráticas o ilegales:

POSTULADO 1.4. Toda propiedad esencial está legalmente relacionada con alguna otra propiedad esencial. Esto es, para dos propiedades esenciales cualesquiera, P y Q, o bien $S(P) \subseteq S(Q)$ o $S(Q) \subseteq S(P)$.

Sostenemos que este *principio de legalidad* ontológico subyace en toda la ciencia y la tecnología. Este principio no debe confundirse con el principio de *uniformidad*, que afirma que las leyes son las mismas en todo el cosmos en todo momento. En una versión aún más fuerte, este último afirma que los mismos eventos ocurren en todas partes y todo el tiempo. Si esta tesis fuera cierta no habría evolución.

Puesto que el principio de legalidad es en sí mismo una proposición legal que incluye pautas objetivas (propiedades constantemente relacionadas) o enunciados legales, también se le subsume bajo el término 'ley'. Es más, la palabra 'ley' también se usa para designar reglas o procedimientos basados en leyes, tales como "Si usted quiere lograr B, haga A". A causa de esta ambigüedad debemos distinguir cuatro conceptos diferentes designados por la palabra 'ley', cada uno de los cuales se identifica con un subíndice:

Ley_1 = Pauta objetiva del ser y el devenir.
Ley_2 = Enunciado legal = Proposición (o proposiciones) que representan una ley_1.
Ley_3 = Regla basada en ley o enunciado nomopragmático.
Ley_4 = Enunciado metanomológico = Proposición acerca de alguna ley_1 o ley_2.

Tenemos más que decir acerca de enunciados legales, nomopragmáticos y metanomológicos en la sección 3.5.8. Aquí nos enfocaremos en el concepto ontológico de ley.

Como las $leyes_1$ interrelacionan propiedades de cosas, *las* $leyes_1$ *son en sí mismas propiedades (complejas) de cosas*. Tanto, que pueden representarse con fórmulas de la forma básica "$(\forall x)Lx$", es decir $leyes_2$. (Para ser precisos, las $leyes_1$ son propiedades sólo en un sentido más amplio que el que aquí se concibe: para detalles véase Bunge, 1977a.) Puesto que las leyes objetivas constituyen la naturaleza de

las cosas, es decir, sus propiedades esenciales, las $leyes_1$ no pueden romperse a la manera en que se rompe una norma legal, ni pueden torcerse como resultado de la acción humana; esto es, las $leyes_1$ se mantienen independientemente del conocimiento o voluntad humanos. Es más, como las $leyes_1$ son *in rebus* y no *ante res*, no tiene sentido decir que las cosas "obedecen" $leyes_1$, o que las $leyes_1$ "gobiernan" el comportamiento de las cosas -excepto como una conveniente aunque engañosa *façon de parler*. Tampoco tiene sentido decir que las leyes de la naturaleza son "eternas e inmutables". Cuando una cosa sufre un cambio cualitativo por primera vez en la historia del cosmos, emergen nuevas $leyes_1$ y pueden sumergirse viejas $leyes_1$. En cambio, las que sí son inmutables son las $leyes_2$, ya que los enunciados legales son constructos. Sin embargo, ni siquiera los constructos son eternos porque son ficciones que no pueden existir independientemente de los cerebros que pueden pensarlos o dejarlos de lado. En resumen, sin cerebros no hay $leyes_2$.

Puede decirse de una ley_1 que es "espacial y temporalmente irrestricta" cuando es poseída por (o "se cumple" para) todas las cosas, como es el caso de las leyes físicas básicas. O puede decirse que es "restringida en espacio y tiempo", como es el caso de las $leyes_1$ biológicas conocidas, que aparecieron en nuestro planeta hace aproximadamente tres o cuatro mil millones de años junto con los primeros organismos. En otras palabras, no todas las $leyes_1$ son universales, en el sentido de "cumplirse" en todas partes y en todo momento. Si se pide, como mucha gente lo hace (véanse, p. ej., Smart, 1963; Rosenberg, 1994), que todas las leyes sean universales, entonces está claro que la biología jamás descubrirá ninguna. Sin embargo la física, la química y las ciencias sociales van en el mismo bote. Por ejemplo, las $leyes_1$ de líquidos y sólidos no surgieron antes de que se formaran los planetas o al menos los asteroides. De igual modo, las $leyes_1$ de las reacciones químicas no existen allí donde la temperatura es demasiado baja o demasiado alta para que ocurran tales procesos. El caso de las $leyes_1$ biológicas es paralelo.

Sin embargo, en biología el problema es que las $leyes_1$ biológicas son tan variadas como los organismos que las poseen. Así, el rango de las $leyes_2$ biológicas puede ser bastante pequeño. Por ejemplo, aunque hay leyes que se cumplen para todos los organismos *qua* sistemas biológicos, también habrá leyes que se cumplan sólo para alguna subespecie, raza o variedad. Peor aún, en el extremo podría haber $leyes_1$ poseídas sólo por un único individuo, como es el caso del último miembro de una especie al borde de la extinción. Sin embargo, la biología no es única en este aspecto: piénsese en la geología, donde muchos enunciados se refieren solamente a la Tierra. (Nótese que en casos como éste el enunciado legal correspondiente sigue siendo general en el sentido de que se refiere a *todos* los individuos en su clase de referencia, y quizá para todo tiempo. Sólo que la clase de referencia es unitaria.) Es más, en el curso de la evolución pueden emerger y sumergirse propiedades legalmente relacionadas de los organismos. Si consideramos finalmente la inmensa variedad de hábitats en este planeta, que da idea de la multitud de circunstancias diferentes a las cuales los organismos están sujetos,

no resulta sorprendente que los biólogos tengan grandes dificultades para establecer enunciados legales.

En resumen, las $leyes_1$ son pautas objetivas del ser y el devenir, que pueden representarse (verdadera o falsamente) mediante enunciados legales. Sin embargo, la noción de devenir aún debe dilucidarse.

1.4 ESTADO

1.4.1 *Función de estado*

Como vimos antes, toda cosa concreta, no importa cuán simple sea, tiene un número de propiedades. La totalidad de las propiedades de una cosa en un cierto tiempo determina el *estado* de la cosa en el tiempo dado. Por supuesto, es improbable que lleguemos a conocer todas estas propiedades. Por esto, nuestro conocimiento de una cosa dada en un cierto tiempo se reduce a la lista de sus propiedades individuales conocidas en ese tiempo. Esta lista representa el estado de la cosa en ese tiempo tal como la conoce el investigador.

Si conocemos n propiedades de una cosa, podemos representar cada una de ellas como una función F. Por ejemplo, la propiedad *genérica* de tener una masa se puede representar por la función numérica $M: B \times T \times U_M \rightarrow \mathbb{R}^+$, donde B designa el conjunto de los cuerpos, T el conjunto de los instantes del tiempo, U_M el conjunto de las unidades de masa, y $\mathbb{R}^+$ el conjunto de los números reales no negativos. Un valor particular $M(b, t, u) = r$ de esta función representa una propiedad *individual* de un organismo b, por ejemplo, la de tener una masa de 100 g en el tiempo t.

Lo mismo que sucede con la masa, sucede con las propiedades restantes de la cosa de interés: cada una de éstas puede formalizarse mediante una función. La lista de tales n funciones se llama *función de estado* de las cosas del tipo en cuestión. (También se les llama a menudo *variables de estado*.) En otras palabras, si tenemos n funciones F_i, la función de estado F de la cosa dada es la lista o n-upla $F= \langle F_1, F_2, ..., F_n \rangle$. El valor de F en el tiempo t, es decir, $F(t) = \langle F_1(t), F_2(t), ..., F_n(t) \rangle$ representa el *estado* de la cosa en el tiempo t. (En realidad, el estado de cualquier cosa en cualquier momento también es marco-dependiente pero no necesitamos tratar aquí esta complicación.) $F(t)$ puede visualizarse como la punta de una flecha en un espacio abstracto n-dimensional; sobre esto se verá más en la siguiente sección.

1.4.2 *Espacio de los estados*

El conjunto de estados posibles de una cosa puede representarse en un *espacio de los estados* o *espacio de posibilidad* para la cosa. Éste es el espacio abstracto abarca-

do por la correspondiente función de estado $F = \langle F_1, F_2, ..., F_n \rangle$. Si se conocen o toman en cuenta sólo dos propiedades de la cosa, el espacio de los estados correspondiente es una región del plano determinada por los ejes F_1 y F_2: véase figura 1.1. Un espacio de los estados para una cosa con n propiedades conocidas es n-dimensional.

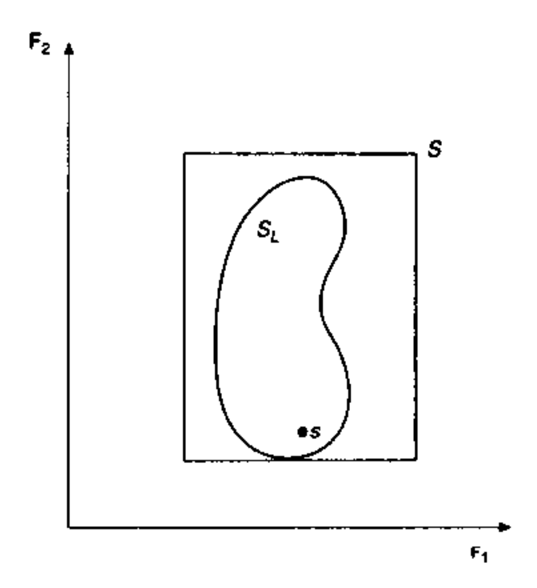


Fig 1.1. El espacio de los estados concebible S de las cosas de algún tipo, y el correspondiente espacio de los estados legal (o nomológico) S_L, es decir, el conjunto de todos los estados realmente posibles de las cosas en cuestión. Sólo hay involucradas dos funciones de estado, F_1 y F_2, en un espacio de los estados bidimensional. (En realidad los ejes son los rangos o conjuntos de valores de las funciones, no las funciones mismas). El punto s representa el *estado* de una cosa del tipo dado en algún tiempo.

Cada estado de una cosa de un tipo dado puede representarse como un punto en el correspondiente espacio de los estados. "Según pasa el tiempo", los valores de algunas de las propiedades de la cosa están condenados a cambiar, y así el punto representativo "se mueve" a lo largo de alguna trayectoria. El tramo de semejante trayectoria durante un período de tiempo t se denomina la *historia* de la cosa en cuestión durante t: Véase figura 1.2. (A la historia total de un organismo se le llama usualmente 'historia de vida' o 'ciclo de vida', pero el último término es equívoco porque la palabra 'ciclo' sugiere que el organismo vuelve a algún estado primitivo o inicial, lo que por supuesto no es cierto. Después de todo, la muerte no es un retorno al nacimiento ni a la fertilización.) Por más similares que sean entre sí, dos cosas diferentes están sujetas a tener historias más o menos diferentes, debido a diferencias en su composición, en su ambiente o en ambos.

Nótese que aunque el estado de una cosa es definido y objetivo, puede con-

ceptualizarse de diferentes maneras, dependiendo de nuestro conocimiento de la cosa. Por eso no existe *la* única función de estado para las cosas de cualquier tipo dado, y por eso cautamente nos referimos a *una* función de estado y a *un* espacio de los estados. De hecho, hay tantas funciones de estado, y por lo tanto espacios como representaciones o modelos de la cosa podamos concebir. Sin embargo, la elección de la función de estado no es arbitraria ni una cuestión de gusto, debido a que cualesquiera funciones de estado que se elijan, se supone que satisface los enunciados legales incluidos en la teoría, y esto está lejos de ser una cuestión de convenciones.

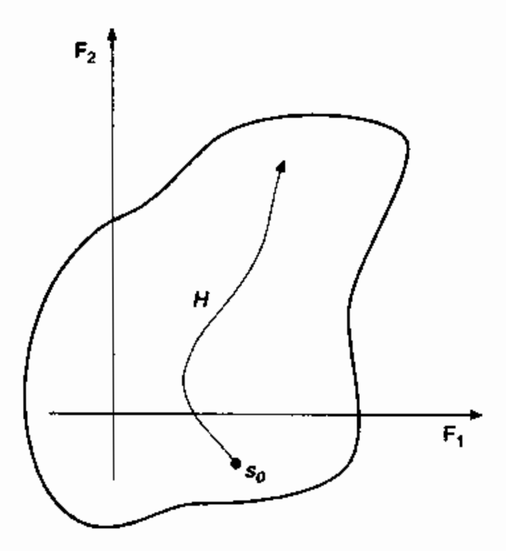


Fig 1.2. El espacio nomológico de los estados de las cosas de algún tipo, abarcado por los dos ejes F_1 y F_2. La trayectoria *H* representa la *historia* de una cosa en particular del tipo dado durante algún período de tiempo, asumiendo que no haya adquirido nuevas propiedades. Si aparecen nuevas propiedades durante el período dado, deben agregarse nuevos ejes dimensionales o bien construirse de la nada un nuevo espacio de los estados de dimensionalidad superior.

1.4.3 *Espacio nomológico de los estados*

El principio de legalidad (postulado 1.4) afirma que todas las propiedades esenciales de una cosa se hallan legalmente relacionadas. De acuerdo con esto, cualquier función de estado lógica o conceptualmente posible de una cosa no tomará valores en todo su codominio, y en cambio estará restringida a un subconjunto de este último: aquellos valores que son compatibles con las leyes de la cosa en cuestión. Así, sólo un cierto subconjunto de los estados concebibles de la cosa considerada será realmente posible para ella. Podemos llamar al subconjunto de los estados realmente posibles del espacio de los estados lógicamente posibles de

una cosa en la representación dada, su espacio de los estados *legal* o *nomológico*: véase figura 1.1. Por ejemplo, todo organismo está encerrado dentro de un espacio de los (posibles) estados –por supuesto un espacio abstracto– peculiar de su taxón, y en particular su especie (véase sección 7.2.1.8.) Entre las leyes que restringen el rango (lógicamente) posible de formas de organismos, es decir, su llamado morfoespacio (Alberch 1982; Lauder 1982; Gould 1989; Goodwin 1994), se encuentran aquellas propiedades que se discuten como restricciones de desarrollo y filogenéticas. Sin embargo, lo que funciona como una restricción en evolución origina una ley en el desarrollo, ya que es éste el período en la historia de vida de un organismo en el que emergen las novedades cualitativas. (Véanse también secciones 8.2.4.3 y 9.3.6, así como Levins y Lewontin 1982.)

1.5 EVENTO, PROCESO E HISTORIA

Un principio filosófico compartido por la mayoría de las escuelas filosóficas es que todas las cosas están en flujo. (En honor a la verdad, aunque este principio nunca fue refutado resulta difícil de probar: por eso es que hay que postularlo.) Así introducimos:

POSTULADO 1.5. Todas las cosas cambian.

De esta manera, "según pasa el tiempo", algunas de las propiedades de todas las cosas cambian. En otras palabras, el estado de cualquier cosa concreta cambia en el curso del tiempo. Más precisamente, un *evento* puede representarse como un par ordenado de estados $\langle F(t), F(t')\rangle$, donde $t < t'$. Una concepción alternativa es como sigue. Si S_K designa un espacio de los estados para las cosas de tipo K y $s, s' \in S_K$ denotan dos estados de una cosa x del tipo K, entonces el cambio neto o evento de x cuando pasa del estado s al estado s' se representa por medio del par ordenado de estos estados, esto es, $\langle s, s'\rangle \in S_K \times S_K$. (Nótese que en esta concepción no necesitamos la noción de tiempo. De hecho, el tiempo no precede a las cosas ni es externo a ellas; lo constituye el cambio de las cosas. De esta manera, la expresión anterior "según pasa el tiempo" en realidad debe considerarse metafísicamente mal formada.) Semejante transición de un estado a otro puede representarse mediante el movimiento de un punto representativo en el espacio de los estados (fig. 1.2.)

Como sucede con los estados lógicamente posibles de una cosa, podemos reunir todos los eventos (o cambios en el estado) de una cosa lógicamente posibles para formar el espacio de los *eventos* lógicamente posibles de la cosa en cuestión. De acuerdo con el principio de legalidad (postulado 1.4), como toda cosa sólo puede estar en estados nomológicamente posibles, sólo puede experimentar cambios de estado (o sea eventos) nomológicamente posibles. De esta forma, a partir del postulado 1.4, que es el principio de legalidad respecto del

ser, podemos inferir un principio de legalidad con respecto al devenir. Dicho principio es:

TEOREMA 1.1. Toda cosa puede experimentar sólo cambios (es decir, eventos o transformaciones) legales.

Nótese que la supuesta legalidad de todo cambio no implica que todo cambio sea estrictamente determinístico o causal. De hecho, algunos eventos pueden ser aleatorios, lo que, sin embargo, no es lo mismo que ilegales: dado que hay leyes estocásticas o probabilísticas, la aleatoriedad, lo mismo que la causación, es un tipo de legalidad (Bunge, 1959a, 1977a; Levins y Lewontin, 1982, 1985.)

Del teorema 1.1 se sigue una consecuencia inmediata, sostenida tácitamente por la vasta mayoría de los científicos:

COROLARIO 1.1. No existe el desorden total, y no ocurren milagros.

Debido a la supuesta legalidad de todo cambio, el conjunto de los eventos realmente posible se restringe al *espacio de eventos nomológico* de la cosa en cuestión. La noción de un espacio de eventos resultará útil para elucidar el concepto de causación (véase sección 1.9.3.)

El estudio de la mayoría de los eventos, tales como la fertilización y el nacimiento, revela que no son eventos puntuales o "saltos cuánticos" sino procesos. (Incluso los saltos cuánticos son procesos, aunque ocurran muy rápidamente.) Por definición, un *proceso* es una secuencia de estados o, si se prefiere, una secuencia de eventos. Como la noción de proceso figura prominentemente en el discurso biofilosófico, haríamos bien en explicitarla mediante:

DEFINICIÓN 1.4. Un evento complejo, es decir, formado por la composición de dos o más eventos, se denomina *proceso*.

Así, mientras que un evento puntual resulta descriptible mediante el par ordenado (estado inicial, estado final), un evento complejo o proceso queda descrito por una secuencia de más de dos estados, quizás infinitos, es decir una trayectoria o curva en algún espacio. Por ejemplo, un proceso $\langle s, s'' \rangle$ puede analizarse mediante la secuencia de estados $\langle s, s', s'' \rangle$ o, en forma alternativa, por la secuencia de eventos $\langle <s, s'>, <s', s''> \rangle$. Enfatizamos que no cualquier conjunto de estados o eventos anteriormente denominado constituye un proceso. Por ejemplo, una colección de eventos arbitraria que ocurre en diferentes cosas comparativamente aisladas entre sí no constituye un proceso, incluso si está ordenada en el tiempo. Para que un conjunto de eventos constituya un proceso debe satisfacer dos condiciones: (a) los eventos deben involucrar o concernir sólo a una cosa, por compleja que sea, y (b) los eventos deben estar ordenados intrínsecamente, o sea, deben ser representables como una curva o trayectoria en algún espacio de los estados o de los eventos. Por consiguiente, hablar de evolución como un proceso

(individual) sólo tiene sentido si hay sólo una cosa evolucionando, por ejemplo, la biosfera. Sin embargo, si la evolución tiene lugar en biopoblaciones -como comúnmente se cree-, lo que tenemos en realidad son diferentes procesos evolutivos, de manera que 'evolución' sólo puede designar la *colección* de todos los procesos evolutivos en las biopoblaciones. (Más sobre el tema en la sección 9.1.) En resumen, la palabra 'proceso' denota tanto procesos individuales como clases de procesos, y de esta forma es una posible fuente de confusión conceptual.

Mientras que un proceso (o historia parcial) de una cosa es cualquier secuencia (ordenada) de estados de (o alternativamente de eventos en) una cosa, la *historia* (total) de una cosa es el conjunto ordenado de *todos* sus estados (o eventos) sucesivos. Más precisamente, si s_1 designa el estado inicial y s_n el estado final de una cosa, entonces la *historia* (total) H de la cosa dada puede representarse o bien por (a) el conjunto ordenado de los valores sucesivos de la función de estado F de la cosa dada, por ejemplo, $H = \langle F(t_1), F(t_2), ..., F(t_n)\rangle$ o $H = \langle s_1, s_2, ..., s_n \rangle$ o por (b) mediante la secuencia de eventos en la cosa, por ejemplo: $\langle <s_1, s_2>, <s_2, s_3>, ..., <s_{n-1}, s_n>\rangle$.

Nótese que no hemos necesitado la noción de causa en nuestras concepciones de evento, proceso e historia. Por ejemplo, lo que llamamos simplemente 'proceso' con frecuencia es llamado por los filósofos 'proceso causal' (p. ej., Salmon 1989.) En nuestra opinión, un estado no puede ser la causa de un estado posterior. Por ejemplo, el estado de movimiento de un cuerpo no causa ningún estado posterior de movimiento, si sólo porque los estados de movimiento constituyen un continuo, y en un continuo no hay tal cosa como el punto que viene después de un punto dado. Así, el movimiento de un cuerpo a lo largo de alguna trayectoria no es un proceso causal. (Véase también Woodward, 1989.) Hablaremos de una causa (externa) sólo cuando un cambio de estado, es decir, un evento, en una cosa dada, genera el cambio de estado, es decir, un evento, en alguna otra cosa (véase sección 1.9.) Las causas internas son paralelas: un evento en una parte de una cosa puede causar un evento en otra parte.

Con respecto a la ontología tan en boga de las "entidades históricas" en la filosofía de la biología, hacemos énfasis en que éstas no son entidades sino reificaciones de historias de cosas. La historia de una cosa no es una entidad (o individuo concreto), porque al ser una sucesión de estados de una cosa no está ella misma en ningún estado y de esta manera no puede atribuírsele la categoría de mutabilidad (véase sección 1.6.) En otras palabras, una historia de vida es un objeto atemporal y en consecuencia ahistórico. Es más, una secuencia de estados de una cosa no es un sistema concreto (véase sección 1.7.) Sin embargo, 'entidad histórica' también puede referirse a una cosa en un cierto tiempo. De esta manera Hull (1989:187) afirma que los "cortes temporales" de las entidades históricas también serían entidades históricas. Sin embargo, como todas las cosas cambian y tienen por eso una historia, 'entidad histórica' en este sentido es una redundancia, tal como 'proceso histórico'. En suma, en la metafísica de Hull aparentemente se dice que tanto los objetos mutables como los intemporales (es decir ahistóricos) son históricos. De esta manera, la noción de entidad histórica es ya trivial,

ya contradictoria. (Para la idea de taxones como entidades históricas véase sección 7.3.)

Aunque no necesitamos la noción de entidad histórica, se requiere el conocimiento de la historia de muchas cosas para entender su estado presente. Esto es, el estado actual de una cierta cosa compleja depende o de todo su pasado o al menos de una parte de él, por lo que para describirla debemos tomar en cuenta la historia. Éste es el caso de todos los sistemas "hereditarios", o sistemas con "memoria", tales como ciertas aleaciones (histéresis elástica), todos los materiales ferromagnéticos (histéresis magnética), todos los organismos (ADN), muchos animales (aprendizaje) y todos los sistemas sociales (tradición): todos ellos retienen huellas de su pasado.

Un rasgo particular de la mayoría de los organismos (así como de muchas cosas no vivientes) es que a veces también sufren transformaciones cualitativas, tales como en el desarrollo o la evolución. Esto es, adquieren o pierden propiedades. Mientras que el cambio cuantitativo se representa por medio de una trayectoria en algún espacio de los estados con ejes fijos, el cambio cualitativo es como el brote o la poda de ejes en el espacio de los estados original. En sentido figurado,

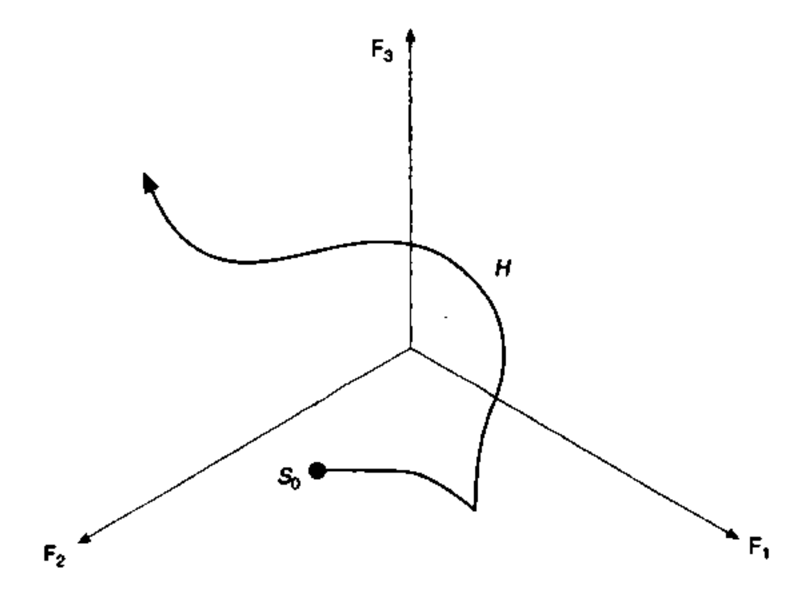


Fig 1.3. Representación de un cambio cualitativo de cosas de algún tipo *K*. El espacio de los estados viene dado por tres funciones, F_1, F_2, y F_3, y la trayectoria representa la historia de una cosa en particular del tipo *K*. Al principio, la cosa sólo tiene dos propiedades, y el cambio que experimenta es cuantitativo, esto es, el gráfico histórico se mueve a lo largo del plano abarcado por F_1 y F_2. Luego, la cosa adquiere una nueva propiedad representada por F_3, de manera que su espacio de los estados es ahora tridimensional, y la trayectoria se mueve dentro de este espacio tridimensional. El salto cualitativo sucede en el cruce de las dos trayectorias parciales.

podríamos decir que durante un cambio cualitativo el gráfico histórico de la cosa en cuestión salta a un diferente espacio de los estados, posiblemente uno de dimensionalidad más alta o más baja: véase figura 1.3. Esta característica transicional del cambio cualitativo es importante científica y filosóficamente: a pesar de Leibniz, *natura facit saltus*, por pequeños que puedan ser tales saltos. (También véanse secciones 1.7.3., 4.1 y 9.1.)

Éste podría ser el lugar indicado para unas pocas observaciones sobre la simpatía ocasional por la variedad de Whitehead de metafísica del proceso, expresada por algunos biólogos y biofilósofos (Woodger, 1929; Løvtrup, 1974; Ho y Fox, 1988; Goodwin, 1990; G.C. Williams, 1992a.) Sin duda, a menudo estudiamos y describimos procesos antes que cosas, tales como ciclos metabólicos, gastrulación o selección. Y en la explicación científica dilucidamos el actual estado de cosas en términos de mecanismos, es decir, procesos (véase sección 3.6.3). Al hacer esto, podemos olvidar que no existen los eventos o procesos en sí mismos (o sea aparte de las cosas que cambian) y hablar de los procesos como si fueran entidades con existencia autónoma. Esto resulta admisible en la medida en que se vea como un caso de abstracción metodológica (esto es, formación de clases de procesos) en vez de una tesis ontológica de la primacía de los eventos y procesos sobre las cosas. Sin embargo, semejante tesis metafísica fue establecida por Whitehead (1929), quien pensaba que como el concepto de evento era tan importante merecía ser tomado como primitivo o no definido. Así, propuso definir una cosa como un haz de eventos. Sin embargo, esta estrategia no resulta lógicamente viable porque es imposible definir el concepto de propiedad de una cosa en términos de la de un evento. De hecho, como un evento es por definición un cambio en algunas propiedades de una cosa, los conceptos de cosa y propiedad tienen prioridad lógica con respecto al de evento. En consecuencia, una descripción precisa de cualquier evento o proceso debe mencionar la(s) cosa(s) cambiante(s) en cuestión. Si se describe un proceso sin la(s) cosa(s) cambiante(s) referidas, nos vemos llevados a preguntar más tarde cuáles son las unidades de ese proceso o, más precisamente, cuáles son los miembros de la clase de proceso dada. Basta ver la controversia sobre las unidades de la selección (véase sección 9.2).

Una observación final se relaciona con la afirmación popular de que los individuos (concretos) "participan" o "funcionan" en varios procesos naturales. Frases como éstas no tienen sentido en nuestra ontología, de acuerdo con la cual las cosas cambian y pueden experimentar procesos, pero como éstos no tienen prioridad sobre las cosas, no pueden "inmiscuirse" en ellas *ab extrinsico*. Lo cierto, sin embargo, es que mientras que las cosas son mutables, los constructos no lo son. Más precisamente, eso ni siquiera puede decirse de ellos.

1.6 MÁS SOBRE COSAS Y CONSTRUCTOS

1.6.1 *Materialidad y mutabilidad*

El concepto de cambio es tan central en la ciencia fáctica que puede usarse para definir el de cosa concreta, material o real (Bunge, 1981a). De hecho, como alternativa a la definición 1.1, proponemos:

DEFINICIÓN 1.5. Para cualquier x: x es una cosa (o *entidad*) *concreta* (o *material* o *real*) $=_{df}$ x es mutable.

Nótese que esta definición de cosa concreta o material es estrictamente objetiva, ya que no incluye la noción de sujeto investigador. Entonces, un subjetivista no tiene uso para ella dado que se interesa sólo en lo que es real para él: lo que yo siento o percibo es lo que es. Así, Feyerabend (1981, p. xiii) nos dice: "Decidimos considerar reales aquellas cosas que desempeñan una función importante en el tipo de vida que preferimos". Este criterio de realidad no es aceptable para el científico ni para el tecnólogo, ya que en ciencia y tecnología la atribución de realidad no es cuestión de estilo de vida sino de ensayos objetivos.

1.6.2 *Idealidad e inmutabilidad*

Ahora centrémonos en los objetos ideales (o conceptuales) tales como números o teorías estudiadas en sí mismas, o sea, independientemente de la gente que las piensa. *Prima facie* un objeto ideal, tal como una cifra matemática o una teoría biológica, no cambia. Si un constructo debiera cambiar se convertiría en un constructo diferente. En contraste, un objeto concreto tal como un organismo debe cambiar para permanecer vivo. Ahora bien, decir que un objeto no cambia significa afirmar que permanece por siempre en el mismo estado. (Más precisamente, su espacio de los estados tendría un solo punto.) Sin embargo, de los constructos ni siquiera puede decirse que estén en estado alguno porque los objetos conceptuales no poseen propiedades sustanciales: sus propiedades son tan ficticias como los mismos individuos. Por ejemplo, no tiene sentido preguntar "¿Cómo le está yendo al 7 hoy?". (En otras palabras, los constructos no tienen espacios de los estados.) Así, los constructos no son objetos eternos (Platón) ni mutables (Hegel.) Lo que cambia de una persona a otra son los procesos cerebrales cuando se piensan los constructos. De acuerdo con esto, proponemos la siguiente convención:

DEFINICIÓN 1.6. Para cualquier x: x es un objeto (o *constructo*) *ideal* (o *abstracto* o *conceptual*) $=_{df}$ x no es inmutable ni mutable.

Nótese que la definición 1.6 no implica la existencia autónoma de las ideas; todo lo contrario. Es sólo una convención que tiene que ver con el significado que

atribuiremos al concepto de "objeto ideal" –o, equivalentemente, la significación que se atribuirá a las expresiones 'objeto ideal', 'objeto conceptual' y 'objeto abstracto', así como a la palabra 'constructo'.

Si se admite la definición 1.5, entonces la *realidad* o *materia*, esto es, la colección de todas las cosas (objetos reales o materiales), resulta ser idéntica a la colección de todos los objetos mutables. Sin embargo, las colecciones son objetos conceptuales (o ideales), no reales: sólo los miembros son reales. Así la materia o realidad, aunque está constituida por (la colección) de todas las cosas (reales), no es ella misma real, es decir, no es una cosa. (De la misma forma, el movimiento no se mueve y la evolución no evoluciona.) Lo que es real es el mundo o universo, esto es, el sistema concreto compuesto por todas las cosas concretas.

1.6.3 *Espaciotemporalidad e individualidad*

Suele asumirse que, a diferencia de las ideas, las cosas materiales "existen en el espacio y en el tiempo". Esto es, se toma la "existencia en el espacio y en el tiempo" para definir el concepto mismo de objeto material, en contraste con el de uno no-material. A su vez, el significado de "*x* existe en el espacio y en el tiempo" es que *x* está localizado en una región del espacio y dura un intervalo de tiempo.

Enunciados como éste presuponen la existencia autónoma del marco espaciotemporal, que a su vez sería un objeto no físico. Esta idea pudo haber sido apropiada en tiempos de Newton pero resulta insostenible luego de la relatividad general, que sugiere adoptar una teoría del espaciotiempo relacional, no absoluta (Bunge, 1977a). De acuerdo con esto, las cosas no flotan en el espaciotiempo: tienen relaciones espaciotemporales entre ellas. Esto es, el espacio y el tiempo no son objetos que existen por sí mismos (o recipientes de cosas.) En lugar de esto, el espaciotiempo es una red de relaciones entre distintas cosas cambiantes. En resumen, sin cosas distintas y cambiantes no hay espaciotiempo. Por eso es que podemos, en principio, elucidar las nociones de cosa y evento sin recurrir a las de espacio y tiempo, aunque evitamos hacerlo por cuestión de simplicidad. Así, en nuestra ontología tiene tan poco sentido decir que una cosa *existe en* el espaciotiempo como decir que el espaciotiempo *existe en* una cosa.

Otra noción popular en el discurso biofilosófico contemporáneo es la de individuo. Comúnmente, un individuo se define como particular en contraste con una clase o universal (véase capítulo 2.) Lamentablemente, esta distinción lógico-semántica entre clase e individuo no responde la pregunta ontológica de si el objeto en cuestión es material o conceptual. Por ejemplo, tanto el planeta Júpiter como Zeus son individuos (lógico-semánticos), pero mientras que el primero es un objeto material el segundo es un constructo. En cambio, todos los conjuntos y clases son objetos conceptuales. Los miembros de un conjunto pueden ser cosas concretas o constructos, o puede haber ambos (más aún, un conjunto puede estar constituido por individuos o por otros conjuntos), pero una clase de objetos reales no es ella misma más real que una clase de constructos. En el capítulo

7 veremos que mientras algunas clases son colecciones arbitrarias, otras son realistas (que no reales) en el sentido de que son colecciones de cosas con características objetivas comunes, tales como una descendencia en común.

Subrayamos, finalmente, que la ubicación espaciotemporal de las cosas no tiene ninguna influencia en si las cosas en cuestión son partes de un individuo (o sistema) o miembros de una clase. El hecho de que todos los sistemas biológicos conocidos son "espaciotemporalmente restringidos", es decir, que ocurren sólo en nuestro planeta y que, es más, se relacionan mediante una descendencia común, no es suficiente para establecer que tales organismos son partes de un individuo. Y el hecho de que un electrón libre es "espaciotemporalmente irrestricto" en el sentido de que está distribuido por todo el universo, no basta para decir que el electrón es una clase o un tipo en vez de un individuo. Lo que está a discusión es (a) si las cosas referidas están o no acopladas formando un sistema (esto es, un "individuo de orden superior"), o (b) si juntamos ciertas cosas conceptualmente, es decir, formando colecciones o clases. Aclaremos el concepto de sistema en la siguiente sección. El análisis de la operación conceptual de clasificación se deja para el capítulo 7.

1.7 TOTALIDADES

1.7.1 *Agregado y sistema*

La mayoría de las entidades no son cosas simples, tales como quarks y leptones, sino que están compuestas de otras cosas. Las cosas que están compuestas de otras cosas pueden denominarse *cosas complejas* o *totalidades*. Hay dos formas en que una totalidad puede cobrar existencia: por *agregación* o por *combinación*. La acreción de partículas de polvo o granos de arena, así como los basureros, estanques de agua y nubes ejemplifican la agregación. Lo que caracteriza a todas estas totalidades es la falta de una estructura específica compuesta por lazos fuertes: esto es, tales totalidades no son cohesivas. En consecuencia, una vez formadas pueden disgregarse bastante fácilmente bajo la acción de fuerzas externas. Por ejemplo, la adición de un simple grano a una pila de arena puede causar su colapso.

Cuando dos o más cosas se juntan e interactúan fuertemente de una manera específica constituyen un *sistema*, esto es, una cosa compleja que posee una estructura definida. Así, los sistemas, a diferencia de los agregados, son más o menos cohesivos. Los núcleos atómicos, átomos, moléculas, cristales, organelos, células, organismos, biopoblaciones, ecosistemas, familias, empresas y sociedades son sistemas. A partir de estos ejemplos resulta obvio que los objetos de estudio científico son en su mayoría sistemas. Sólo los físicos de partículas elementales estudian cosas simples.

Nótese que no adoptamos la definición convencional de sistema como un *conjunto* de elementos interrelacionados, porque los conjuntos son conceptos mien-

tras que aquí se trata de sistemas concretos. Además, un conjunto tiene una membresía fija: cualquiera de sus elementos pertenece a él permanentemente. En contraste, la composición de un sistema concreto puede variar con el tiempo: piénsese en una célula o en un ecosistema.

Un supuesto de nuestra ontología es que no existen las cosas aisladas: toda cosa simple, agregado o sistema interactúa con otras cosas, de manera que todas las cosas se enlazan para formar sistemas (Bunge, 1979a.) Por lo tanto, proponemos:

POSTULADO 1.6. Toda cosa concreta es un sistema o un componente de un sistema.

POSTULADO 1.7. Todo sistema, a excepción del universo, es un subsistema de algún otro sistema.

POSTULADO 1.8. El universo es un sistema, más precisamente el sistema tal que toda otra cosa es componente de él.

El postulado 1.8 no debe confundirse con una tesis holista. La hipótesis de que el mundo es un sistema es más débil que la cosmología holística de Platón, los estoicos o Hegel, de acuerdo con quienes toda cosa está ligada a toda otra cosa, de manera que el mundo como totalidad es un "todo orgánico" u "holon". Si esta hipótesis holista fuese verdadera, entonces resultaría imposible estudiar cualquier cosa particular sin considerar debidamente toda otra cosa, es decir, el universo entero, y sería imposible actuar sobre cualquier cosa en particular sin perturbar el universo entero.

El sistemismo ("Toda cosa va junto con *alguna* otra cosa o cosas") navega por un derrotero intermedio entre el holismo ("*Todas* las cosas van juntas") y el atomismo ("Toda cosa va por su propio camino"). Ninguna parte del universo está completamente aislada, sino que cada cosa está aislada *en algunos aspectos* de algunas otras cosas. Esta condición de interconexión parcial entre las partes del universo posibilita su estudio, dado que el estudio de cada cosa es parcial y se basa en la posibilidad de establecer contacto (aunque sea indirecto) con la cosa. Téngase en cuenta cualquier experimento científico, que presupone que el sistema sujeto a investigación puede aislarse en forma suficiente (aunque nunca completamente) de su ambiente (véase sección 3.7.4.2.)

1.7.2 *El análisis* CES *de los sistemas*

Como la noción de sistema permea la ciencia y la tecnología, resultará de utilidad introducir un modelo general de los sistemas concretos de cualquier tipo, vivos o no. Obviamente, un sistema concreto s está constituido por (al menos dos) partes o componentes. Llamemos a la colección de todas sus partes (esto es, el conjunto $\{x \mid x \sqsubset s\}$, donde $\sqsubset$ designa la relación parte-todo) *composición* (o *clase constituyente*) de s: $C(s)$.

El complemento de la composición de un sistema es, por supuesto, la colección de cosas diferentes del sistema dado, es decir, su ambiente. Sin embargo, al modelar un sistema *s* usualmente no necesitamos considerar el resto del universo sino solamente aquellas cosas que pueden ser influidas por *s* o que pueden actuar sobre *s*. Sólo la colección de aquellas cosas diferentes de *s* que están relacionadas con *s* de esta manera se denominará ambiente (o entorno) del sistema *s*: $E(s)$. Así, usamos el término 'ambiente' siempre en el sentido de 'ambiente inmediato o próximo'. También podemos decir que el ambiente inmediato de un sistema es la composición de su próximo supersistema. Incidentalmente, algunos ecólogos hacen una distinción similar cuando hablan del "ambiente general" y el "ambiente operacional" de un organismo (MacMahon *et al.*, 1981.)

Nótese que el ambiente de un sistema se define como la *colección* de cosas externas a un sistema dado. Así, el ambiente siempre está en relación con algún sistema. Esto es, no hay ambientes vacíos esperando a ser poblados, ni es el ambiente un sistema en sí mismo. Por esta razón, el ambiente no puede actuar sobre el sistema dado como una totalidad. En particular, no podemos hablar de una interacción sistema-ambiente. Definidos como una colección, sólo los miembros del ambiente del sistema dado pueden actuar sobre el sistema o sobre alguna de sus partes. Por supuesto, algunos ítems en el ambiente de un sistema dado pueden estar conectados para formar un sistema, el que entonces puede actuar como una totalidad sobre el sistema en cuestión. Aun así, el ambiente de un sistema tal como se concibe aquí no es una entidad. Si necesitamos el concepto de un ambiente con existencia autónoma, como hacemos cuando planteamos preguntas como '¿Qué sucederá si mudamos al pez *x* del lago *y* al lago *z*?', sugerimos usar el término 'hábitat' (o algún otro) antes que 'ambiente'. El hábitat está "allá afuera" pero el ambiente del sistema en cuestión comprende sólo los ítems que interactúan con él durante un intervalo de tiempo dado. (Para un concepto similar de ambiente, véase Lewontin, 1983b.)

A fin de constituir un sistema antes que un montón, las partes de un sistema deben actuar sobre otros componentes del sistema, o éstos deben actuar sobre ellas. Esto es, deben existir eslabones, lazos o vínculos entre los componentes de *s*. Con la ayuda del concepto de estado antes introducido, podemos ser más precisos y formular:

DEFINICIÓN 1.7. Una relación entre una cosa *x* y una cosa *y* es una relación *vinculante* si y sólo si los estados de *y* se alteran cuando se cumple la relación con *x*.

Debido precisamente a la existencia de tales lazos entre las partes de una totalidad, llamamos a un sistema 'totalidad cohesiva o integrada'. Nótese que la cohesión de un sistema no necesariamente requiere que las partes que lo componen sean espacialmente contiguas. Por ejemplo, una firma de negocios con varias sucursales dispersas por todo el mundo está vinculada por, digamos, telecomunicaciones, correo, embarques, empleados itinerantes, etc. Nótese también la diferencia entre la *integración* y la *coordinación* de un sistema. Tomamos la primera como

integración estructural y la segunda como integración funcional. La distinción entre estos dos conceptos es importante porque puede haber integración sin coordinación, pero no a la inversa. Por ejemplo, una máquina compleja descompuesta, tal como una computadora averiada, está integrada pero no coordinada. En cambio, los organismos están coordinados y *a fortiori* integrados mientras están vivos.

No todas las relaciones entre entidades son vinculantes: también hay relaciones espaciales y temporales que no producen un cambio en los estados de las cosas relacionadas. Por ejemplo, el hecho de que la cosa x esté ubicada a una distancia (o cercanía) de 7 metros de una cosa y con respecto a un cierto marco de referencia z, no cambia por sí mismo sus estados. Puede permitirles, sin embargo, actuar unas sobre otras, pero ésta es una relación distinta. Lo mismo vale para las relaciones temporales: una cosa que, en un momento dado, ya (o todavía) no existe no puede actuar sobre una cosa existente en ese tiempo. Sólo pueden hacerlo las cosas que existen simultáneamente, aunque por supuesto no necesariamente. La simultaneidad tampoco es una relación vinculante.

¿Qué hay de la relación antepasado-descendiente? ¿Existe algún vínculo llamado "nexo genealógico" (Hull, 1987, 1989)? ¿Acaso la reproducción "junta" a los organismos para formar individuos cohesivos tales como especies y taxones monofiléticos (Eldredge, 1985a)? Nuestra respuesta es un rotundo *no*. Los antepasados, si ya no existen, no pueden actuar sobre sus descendientes. Si las historias de antepasados y descendientes se traslapan, entonces los antepasados no actúan sobre sus descendientes *qua* antepasados sino *qua* otros organismos, si es que lo hacen. El hecho de que sólo puede darse cuenta del espacio nomológico de los estados del descendiente en relación con su ascendencia no debe confundirse con la existencia de una relación vinculante entre antepasado(s) y descendiente(s). Para calificarla como relación vinculante, una relación debe alterar el estado de los ítems relacionados, aquí y ahora. Como nos encontraremos nuevamente con este problema en capítulos venideros (capítulos 4 y 7), volveremos ahora a la estructura de los sistemas.

Para resumir, la colección de las relaciones entre las partes de un sistema se divide en dos subcolecciones que no se traslapan: la de las relaciones vinculantes (o vinculación) B y la colección de las relaciones no vinculantes $\bar{B}$. Llamemos a la unión de las colecciones de relaciones vinculantes y no vinculantes entre las partes de un sistema la *estructura interna* (o *endoestructura*) de s: $S_I(s)$. No hace falta decir que usualmente estamos interesados en la endoestructura vinculante de un sistema.

Ahora todos los sistemas, o al menos algunas de sus partes, también interactúan con algunos ítems del ambiente. Llamemos a la colección de todas las relaciones vinculantes y no vinculantes entre s, o sus componentes, y cosas del ambiente la *estructura externa* (o *exoestructura*) de s: $S_E(s)$. Nuevamente, la mayoría de los científicos se interesa en la exoestructura vinculante de las cosas, tales como las relaciones ecológicas entre un organismo y las cosas en su ambiente.

Finalmente, la unión de $S_I(s)$ y $S_E(s)$ puede denominarse *estructura* (total) del sistema s: $S(s)$.

Ahora tenemos todo lo que necesitamos para construir el modelo cualitativo más simple de un sistema material arbitrario s (excepto el universo), es decir, la terna ordenada:

$$m(s) = \langle C(s), E(s), S(s) \rangle$$

Llamamos a cualquier terna semejante el *modelo* CES de un sistema dado. Sin embargo, tal modelo CES es solamente un modelo mínimo de un sistema concreto, porque nada dice sobre la historia y las leyes del sistema. Evidentemente, la historia de un sistema resulta de particular interés en el caso de los biosistemas y sociosistemas.

Una representación alternativa y mucho más fina de un sistema concreto se alcanza mediante el concepto de espacio de los estados. El espacio de los estados de un agregado o conglomerado de cosas está determinado de manera única por los espacios de los estados de sus partes. Es más, dado que las contribuciones de éstas son todas semejantes, podemos aceptar que el espacio total de los estados de un agregado es la unión de los espacios de los estados parciales. Sin embargo, para el caso de un sistema, el estado de cada componente está determinado, al menos en parte, por los estados en que se encuentran los demás componentes, de manera que el espacio total de los estados ya no es la unión de los espacios de los estados parciales.

Antes de seguir adelante con los sistemas materiales, debería notarse que el modelo CES también puede aplicarse a los sistemas conceptuales. Un *sistema conceptual* es un sistema compuesto por constructos unidos por relaciones lógicas o matemáticas. El ambiente de un sistema conceptual es el cuerpo del conocimiento al que pertenece, por ejemplo, álgebra, paleontología o economía. Las clasificaciones y teorías, por ejemplo, son sistemas conceptuales. Aunque los sistemas conceptuales son individuos (particulares), la atribución de cambio y evolución a tales individuos, por ejemplo, teorías, se encuentra en la categoría de los enunciados metafísicamente mal formados. (Por supuesto, la gente puede cambiar de opinión acerca de las teorías, y puede alterarlas o incluso abandonarlas. Por ejemplo, los biólogos han producido diferentes teorías de la evolución, pero no ha habido un proceso que pueda llamarse la evolución de le teoría de la evolución. Esto no niega la relevancia de la "historia de las ideas" sino que es una advertencia para no confundir ficción y analogía con hechos.)

Resultará más obvio aún que, en línea con nuestra dicotomía conceptual/material (o formal/concreta) (véase postulado 1.2), negamos la existencia de sistemas mixtos, es decir mitad conceptuales-mitad materiales.

La mayor parte de los sistemas concretos está compuesta no sólo por cosas simples sino también por subsistemas, los cuales a su vez pueden estar compuestos por otros subsistemas. En otras palabras, muchos sistemas consisten de sistemas anidados. Con la ayuda del análisis de sistemas CES podemos definir la noción de subsistema como sigue:

DEFINICIÓN 1.8. Una cosa x es un subsistema de un sistema s, o $x \lhd s$, sii
(i) x es un sistema;
(ii) $C(x) \subseteq C(s)$, $E(x) \subseteq E(s)$; y $S(x) \subseteq S(s)$.

Nótese que la relación de subsistema $\lhd$, tal como la relación de parte a todo, es una relación de orden, o sea, reflexiva, asimétrica y transitiva.

La complejidad de los sistemas reales en la mayoría de las ciencias nos obliga a analizar los conceptos de composición, ambiente y estructura de un sistema en tantos niveles como se necesite. Por ejemplo, el biólogo molecular puede estar interesado en el nivel molecular de una célula, el citólogo en el nivel celular de un organismo (multicelular), el histólogo en el nivel tisular y el anatomista macroscópico en el organal. En otras palabras, a menudo resulta útil relacionar el modelo CES de un sistema con un cierto nivel L de individualidad, en el que el científico está interesado. (Más información sobre niveles, especialmente bioniveles, en la sección 5.3.) Al hacer esto, hablamos de la *L-composición*, el *L-ambiente* y la *L-estructura* de un sistema s. El modelo CES de s ahora se lee así: $m_L(s) = \langle C_L(s), E_L(s), S_L(s)\rangle$, donde $C_L(s) = C(s) \cap L$, y análogamente para $E_L(s)$ y $S_L(s)$.

Más aún, puede resultar útil restringir el análisis de un sistema no sólo a un cierto nivel de interés sino a un cierto tiempo t o algún intervalo de tiempo t. En el primer caso, un modelo CES de cualquier sistema s se simbolizará de esta manera: $m_L(s, t) = \langle C_L(s, t), E_L(s, t), S_L(s, t)\rangle$. La notación para un intervalo de tiempo t es análoga. En lo sucesivo usaremos cualquiera de estas notaciones, según resulte apropiado.

Un análisis sistémico de los sistemas siempre debería llevarse a cabo en la forma de un modelo CES. Despreciar una o más de las tres coordenadas lleva a un enfoque no sistémico, en particular reduccionista (véase también Wimsatt 1982a.) Los atomistas se enfocan en la composición e ignoran el ambiente y la estructura; los ambientalistas y holistas se enfocan en el ambiente o supersistema (incluso el "holon") e ignoran así la composición y la estructura; y los estructuralistas desprecian composición y ambiente. Sólo el científico que presta atención a la multiplicidad de los niveles tenderá a cruzar alguna de las fronteras artificiales entre campos de investigación: tenderá a adoptar un enfoque *interdisciplinario*.

Con respecto al análisis CES de un sistema, debemos finalmente alertar contra el uso acrítico del término 'estructura' en biología, especialmente en morfología. Cuando se habla de subsistemas (órganos) o rasgos morfológicos de los organismos, los biólogos suelen hablar de "estructuras". Dado el concepto de estructura introducido antes, resulta obvio que éste sea un ejemplo de reificación. Un subsistema de un organismo no *es* una estructura; pero *tiene* una estructura. Si se llama 'estructura' tanto al sistema mismo como a su estructura, debemos hablar pues de la estructura de una estructura. Para evitar tales problemas, usaremos el término 'estructura' sólo en su sentido apropiado, que es el elucidado en matemáticas (véase también Young 1993).

1.7.3 *Emergencia*

La biología evolutiva engendró al menos tres conceptos ontológicos importantes: el de evolución, el de nivel de organización (o mejor, nivel de sistema o individualidad) y el de emergencia de novedad cualitativa (o de cosas que poseen propiedades radicalmente nuevas.) También se sugiere que los tres conceptos están mutuamente relacionados de una manera directa, constituyendo la hipótesis de que *nuevos niveles emergen en el curso de la evolución*. (Estrictamente hablando, éste es un enunciado metafísicamente mal formado: véase sección 5.3.) Esta hipótesis se difundió desde la biología hacia todas las ciencias fácticas. De hecho se le encuentra ya en forma explícita, ya en forma tácita, en campos tan diversos como los estudios de la evolución molecular, astrofísica, psicología comparada y del desarrollo e historia social (o sociología histórica.)

A pesar de su importancia para la biología evolutiva, el concepto ontológico de emergencia a veces es rechazado ya que se entiende mal (p. ej., Ayala, 1983, así como en Dobzhansky *et al.*, 1977:489; Rosenberg, 1994). En ocasiones la emergencia es equiparada con la ignorancia del mecanismo que resulta en el ensamblaje de cosas nuevas a partir de sus constituyentes o precursores. Se argumenta que si sólo conociéramos la composición exacta de una cosa y los vínculos entre sus componentes, la emergencia se vería como lo que realmente es: una ilusión. Una réplica obvia es que la novedad explicada no es menos nueva que la novedad inexplicada, y la novedad predicha no es menos nueva que la no predicha (o a veces impredecible): el concepto de emergencia es ontológico, no epistemológico.

El concepto de emergencia fue introducido por G.H. Lewes (1879), quien distinguía entre propiedades resultantes y emergentes. (Véase también Blitz, 1992 para una historia de este concepto.) De una propiedad de una totalidad poseída también por algunas de sus partes se dice que es *resultante*. Si, en cambio, una propiedad de una totalidad no es poseída por ninguno de sus componentes, se le llama *emergente*. Por ejemplo, la propiedad de estar vivo es una propiedad emergente de las células pero una propiedad resultante de los organismos multicelulares.

Es necesario repetir que estas definiciones tienen que ver con las cosas y sus propiedades, no con nuestro conocimiento de ellas. Esto es, pertenecen a la ontología y no a la epistemología. Sin embargo, también hay "propiedades" (atributos) emergentes de las totalidades conceptuales, en particular de los objetos geométricos. Por ejemplo, conectar tres segmentos de recta por sus puntos da como resultado una totalidad (conceptual) con atributos emergentes: un triángulo. Un ejemplo más importante para la biofilosofía son los artificios estadísticos, tales como promedios, modas y varianzas, que también dependen del sujeto cognoscente. Tales parámetros estadísticos pueden llamarse atributos *agregados* o *colectivos*, ya que resultan de la agregación de propiedades de los individuos que constituyen la población en cuestión (véase Lazarsfeld y Menzel, 1961.) Una colección, o agregado, o población *en sentido estadístico* se caracteriza por tales atributos agregados. Sin embargo, estos atributos estadísticos no corresponden a ninguna propiedad sustancial (emergente) de una totalidad material. Por ejem-

plo, cuando se dice que cierta población de serpientes tiene una longitud corporal promedio de 95 cm, nos referimos a los atributos estadísticos de una colección de individuos. Un agregado o población de serpientes (física) concreta puede tener cierta altura y longitud cuando apilamos a las serpientes una encima de otra; pero esta población como totalidad material no tiene ni cuerpo ni longitud corporal, y *a fortiori*, no tiene longitud corporal promedio. En otras palabras, las llamadas "propiedades" agregadas o colectivas no tienen estatus ontológico: son emergentes conceptuales, no sustanciales o materiales (véase también Horan, 1994). En lo que sigue, trateremos sólo de emergentes materiales.

Las distinciones cosa-constructo y propiedad-predicado resultan especialmente importantes respecto a la ambigua noción de población biológica, que puede significar o un agregado estadístico de organismos o un agregado concreto, o quizás un sistema compuesto de organismos, tal como una comunidad reproductiva (más información en la sección 4.5). De manera semejante, en el debate sobre la selección de grupo, la respuesta a la pregunta de cuáles son las propiedades genuinas de los grupos depende de si los grupos se conciben como entidades estadísticas o concretas. Por ejemplo, el uso de valores promedio de aptitud en modelos de selección de grupo no convierte a los grupos del caso en totalidades materiales, en particular unidades de selección de grupos. En cambio, las propiedades emergentes de los grupos en tanto totalidades materiales serían, por ejemplo, la densidad y la "estructura" etaria de una población, así como la cohesión de un grupo social (más información sobre este tema en la sección 9.2).

Ahora estamos listos para una elucidación algo más formal:

DEFINICIÓN 1.9. Represente *P* una propiedad de una cosa *b*. *P* es una propiedad *emergente* de *b* si y sólo si:

(i) *b* es una cosa compleja (un sistema), ninguno de cuyos componentes posee *P*; o bien

(ii) *b* es una cosa que ha adquirido *P* en virtud de convertirse en un componente de un sistema (es decir, *b* no poseería *P* si fuera una cosa independiente o aislada.)

La noción dual de *submergencia* o pérdida de propiedades resulta definible de manera similar. Relacionando las nociones de emergencia y submergencia con el enfoque de espacio de los estados antes introducido, podemos decir que la emergencia de una propiedad nueva se representa mediante el brote de un nuevo eje en el espacio de los estados, y la submergencia de una propiedad mediante la poda de un eje (figs. 1.2 y 1.3.) Los dos conceptos en cuestión aparecen en:

POSTULADO 1.9. Todos los procesos de desarrollo y evolución van acompañados de la emergencia o sobmergencia de propiedades (genéricas.)

Nuestra definición 1.9 es más inclusiva que la de Lewes. De hecho, abarca dos tipos de emergencia: la *intrínseca* (o global) y la *relacional* (o estructural o contextual). La primera se refiere a un sistema como una totalidad; la segunda a una propiedad que una cosa adquiere cuando se vuelve parte de un sistema. (Véase

también Levins y Lewontin, 1985:3). Ejemplos de (i) son las propiedades de tener una estructura (una cosa compleja, no una simple), estar vivo (una célula, no una molécula) o estar consciente (un cerebro altamente evolucionado, no una neurona.) Ejemplos de (ii) son los de ser un gen (no una cadena aislada de ADN), prole, pareja reproductiva, predador, presa o el macho (o hembra) alfa.

Nuevamente hacemos énfasis en que la emergencia material es una categoría ontológica y no epistemológica. En otras palabras, asumimos que la emergencia es un rasgo del mundo real. Sin embargo, tal como se mencionó previamente, la emergencia a menudo se identifica con la novedad inexplicada (o incluso inexplicable) o no predicha (o incluso impredecible) (p. ej. Salt, 1979). Sin embargo, para un realista la novedad cuantitativa es independiente de nuestra capacidad para explicarla o predecirla. Sólo la introducción de ideas radicalmente nuevas depende del sujeto cognoscente. Puede conjeturarse que tales ideas consisten en la emergencia, mediante autoensamblaje espontáneo, de nuevos sistemas neuronales plásticos (véase sección 3.1.1, así como Bunge, 1993).

Ahora, la emergencia material es emergencia *a partir de* precursores o emergencia *en* un proceso de incorporación en un sistema. Así, la ocurrencia de una nueva propiedad o propiedades E depende de la preexistencia de algunas propiedades básicas o precursoras o propiedades B. Los dos casos distinguidos en la definición 1.9 pueden ser descritos ahora por proposiciones de los tipos:

1. Una cosa, que posee propiedades B en el tiempo t, se convierte en una cosa con nuevas propiedades E en el tiempo t', con $t'>t$.

2. Una cosa, que posee propiedades B en el tiempo t, adquiere nuevas propiedades E al convertirse en un componente de un sistema en el tiempo t' con $t'>t$.

Los conceptos de ganancia y pérdida de propiedades de una cosa en un período $[t, t']$ se aclaran como sigue. Designen $P(t)$ y $P(t')$ el conjunto de todas las propiedades de una cosa al tiempo t y t' respectivamente. La ganancia (γ) y la pérdida (λ) de propiedades en este período son $g(t, t') = P(t') - P(t) = E$, y $l(t, t') = P(t) - P(t')$, respectivamente.

Cuando las propiedades emergentes son importantes o numerosas, se justifica referirse a una cosa en el tiempo t, y a una cosa diferente –esto es, una en una fase diferente o una de un tipo diferente– en el tiempo t'. Ejemplos: cambio en el estado de condensación (p. ej., líquido → vapor), metamorfosis y especiación. Sin embargo, en el caso del desarrollo, la emergencia y submergencia de cualidades están incluidas en la misma caracterización de la especie (biológica) a la que el individuo pertenece. Así, por ejemplo, la mariposa pertenece a la misma especie que la oruga, de la cual emerge a través de la metamorfosis. Sólo en el caso de la evolución hablamos de especiación.

¿Cómo ocurren estos procesos?, ¿cuáles son los mecanismos de la emergencia? En otras palabras, ¿cómo depende E de B? Nuevamente: ¿cuál es la función que mapea el conjunto B en el conjunto E? Sólo un matemático puro o un metafísico hegeliano podrían hacer una pregunta tan general. Un biólogo, así como cualquier otro científico fáctico, sabe que no hay una respuesta general: la respuesta depende de la naturaleza del caso. En otras palabras, existen incontables meca-

nismos de emergencia, y apenas si tienen algo en común excepto la aparición de nuevas propiedades. Así, el proceso mediante el cual dos células germinales se combinan para formar un cigoto es totalmente diferente del proceso por el que dos átomos se combinan para constituir una molécula. De igual manera, el proceso a través del cual un organismo adquiere una pareja reproductiva es totalmente diferente del proceso a través del cual un ion captura un electrón. Es más, jamás se describe alguno de los cuatro procesos recién mencionados como un mapeo de *B* en *E* independiente de las cosas que poseen *B* y *E*. Más bien, los procesos de emergencia se describen, por ejemplo, como cambios que ocurren en las cosas mediante el autoensamblaje y la autoorganización, mediante un reacomodo interno, mediante interacciones con el ambiente o cualquier combinación de éstos.

Lo precedente arroja graves dudas sobre la capacidad del concepto de *superviniencia* para tratar la novedad cualitativa y representar una alternativa exitosa al concepto de emergencia. De hecho, hablar de superviniencia es hablar de propiedades en sí mismas (es decir, independientes de las cosas que las poseen), algunas de las cuales –las negativas y las disyuntivas– no pueden ser poseídas por nada concreto (es decir, se pasa por alto la distinción propiedad-predicado), que no surgen en el curso de un proceso que ocurre en el tiempo, y que no involucran ningún sistema. Para mostrar que en efecto éste es el caso, examinemos brevemente el tratamiento lógico usual (antes que ontológico) de la superviniencia propuesto por Kim (1978) y adoptado por Rosenberg (1978, 1985) y otros.

Sea *M* un conjunto de propiedades unarias (en realidad, predicados) y M^* el superconjunto formado al sumar a *M* los complementos de todos los miembros de *M*, así como las disyunciones y conjunciones de cualesquiera dos miembros de *M*. Tómese un segundo conjunto *N* de propiedades unarias de entidades en algún dominio *D* de objetos y fórmese el superconjunto N^* de la misma manera que M^*, o sea, sumando los complementos, disyunciones y conjunciones. (Puede pensarse en *M* y *N* como predicados mentales básicos y neurofisiológicos, o bien morales y físicos respectivamente.) Se dice que *M* es *superviniente sobre N* sólo en caso de que los objetos en *D* que comparten todas las propiedades en N^* también compartan todas las propiedades en M^*. (La concepción original de Kim es mucho más complicada: involucra dos conjuntos más, uno derivado de M^* y el otro de N^*. Pero no hace uso de ellos para definir "superviniencia". Es más, Kim mismo admite que la noción de necesidad que aparece en su definición no es clara. Podría tratarse de necesidad lógica, tal como en la deducción, o necesidad natural, tal como en legalidad.)

Kim afirma que su concepto aclara la borrosa noción de Donald Davidson de que "las características mentales son en algún sentido dependientes, o supervinientes, de las características físicas". Sin embargo, esto no es así, ya que el mencionado *N* no se construye a partir de *M*. De hecho, de acuerdo con la definición de Kim, la relación de superviniencia es una relación atemporal entre dos conjuntos distintos que, después de haber sido definidos independientemente uno del otro se descubre que se reflejan entre sí. En otras palabras, todo lo que sabe-

mos cuando nos dicen que *M* es superviniente sobre *N* es que *N** refleja *M** y viceversa (brevemente: la superviniencia es biyectiva, no inyectiva.) Como la relación de superviniencia es simétrica, también podría decirse que *N* es superviniente sobre *M* antes que la recíproca. En otras palabras, no hay involucrada ninguna dependencia unilateral en la superviniencia, mucho menos alguna idea de proceso o tiempo. En consecuencia, el concepto de superviniencia de Kim podría usarse para exactificar la idea de paralelismo psicofísico pero no la de emergencia de funciones mentales como concomitante de la organización o reorganización de sistemas neurales.

Rosenberg (1978, 1985) cree que la noción de superviniencia de Kim podría ayudar a dar cuenta de propiedades tales como la aptitud (o condición de adaptado), que puede resultar de propiedades subyacentes muy diferentes. Esto es, dos organismos que pertenecen a diferentes taxones, y por lo tanto poseen diferentes propiedades morfológicas y fisiológicas, tendrían tal vez el mismo valor de aptitud. Rosenberg afirma que éste es un caso en el que la aptitud darwiniana de un organismo *superviene* sobre sus propiedades "físicas" (en realidad: biológicas.) Sin embargo, no hay necesidad de invocar un término (pseudo)técnico en este caso más de la que hay para dar cuenta de casos como 1 kg de pan y 1 kg de mantequilla, o la longevidad casi igual de humanos, loros y tortugas terrestres. Los tres son casos de coincidencia. Es más, no involucran la ocurrencia de novedades cualitativas. (El hecho de que los valores individuales de propiedades tales como el peso o la condición de adaptado puedan coincidir en los diversos individuos que resultan poseer tales propiedades no impide que usemos la noción de peso en una teoría física o la noción de condición de adaptado en una teoría biológica, en particular en la teoría de la selección. Después de todo, el peso es una propiedad genérica de todas las cosas dotadas de masa que se encuentran en un campo gravitacional, y la condición de adaptado es una propiedad relacional genérica compartida por todos los sistemas vivientes *qua* sistemas vivientes que se dan en un ambiente dado: véase sección 4.2.)

Para concluir: la noción de superviniencia –una relación estática y simétrica– resulta irrelevante para la novedad cualitativa, que siempre se da en el curso de un proceso u otro, particularmente en procesos de desarrollo y evolutivos. Es más, como involucra la confusión de propiedades con predicados, no vemos uso para ella en una metafísica científica.

1.7.4 *Ensamblaje y autoorganización*

Dos nociones importantes en cualquier ontología naturalista son los conceptos de autoensamblaje y autoorganización. Cualquier proceso por el cual se forma un sistema a partir de sus componentes se llama *ensamblaje*. Un proceso de ensamblaje puede ocurrir en un solo paso o, más verosímilmente, en una cantidad de pasos, y puede ocurrir espontáneamente (naturalmente) o artificialmente (es decir, guiado por el hombre, tal como sucede en un laboratorio tecnológico o en

una planta industrial.) Como en biología estamos interesados principalmente en procesos naturales, sugerimos la siguiente:

DEFINICIÓN 1.10. Denote x una cosa que, en el tiempo t, está compuesta de partes desacopladas –un mero montón o agregado de cosas desvinculadas–, es decir, $B(x, t) = \varnothing$. Entonces

(i) x se ensambla para formar y en el tiempo $t' > t$ si y es un sistema con la misma composición que x pero una vinculación no vacía, esto es, $C(y, t') = C(x, t) \neq \varnothing$ & $B(y, t') \neq \varnothing$;

(ii) el proceso de ensamblaje es de *autoensamblaje* si el agregado x se convierte espontáneamente (esto es, naturalmente antes que artificialmente) en el sistema y;

(iii) el proceso de autoensamblaje es de *autoorganización* si el sistema resultante está compuesto por subsistemas que no existían antes del comienzo del proceso.

Ejemplos de autoensamblaje son la formación de cristales a partir de las soluciones, de microesferas a partir de proteínas termales y de microtúbulos a partir de moléculas proteicas globulares. Un ejemplo de autoorganización es la formación de los órganos de un embrión, que constituyen sistemas que no existían antes de su desarrollo. Como el autoensamblaje y la autoorganización ocurren en todos los niveles, los conceptos correspondientes no son exclusivos de la biología sino conceptos ontológicos genuinos. (Para un voluminoso tratado de autoorganización en biología, véase Kauffman 1993.)

1.8. HECHO

1.8.1 *Hecho objetivo*

Habiendo dilucidado los conceptos de estado y evento, ahora podemos decir que un *hecho* es que una cosa esté en un estado o que un evento ocurra en una cosa. Los constructos no pueden considerarse hechos puesto que no son objetos que estén en un determinado estado, menos aún sufrir cambios de estado. Por eso, no llamaríamos 'hecho' a una proposición fáctica verdadera. (El punto de vista según el cual los hechos dependen de la teoría o de datos empíricos antes que de cosas "allá afuera" se encuentra muy difundido en la filosofía de la biología: véanse, p. ej. Sattler, 1986; Shrader-Frechette y McCoy, 1993; van der Steen, 1993.) En otras palabras, una hipótesis bien confirmada, tal como la hipótesis de la descendencia con modificaciones, no es un hecho: *se refiere* a un hecho, esto es, un proceso, o más precisamente un número de procesos. Análogamente, no hay "hechos científicos": sólo un procedimiento para alcanzar conocimiento puede ser científico (o no), no el objeto de nuestra investigación. De acuerdo con esto, los científicos no "coleccionan" hechos, ni los esgrimen o, peor aún, "construyen" hechos, sino que producen hipótesis y teorías que se refieren a, o representan, hechos. Por supuesto, algunas de estas hipótesis pueden resultar falsas, ya sea

porque se refieren a objetos puramente imaginarios o porque describen hechos reales incorrectamente.

Más aún, la no ocupación de un estado y la no ocurrencia de un evento no son hechos. Así, no haber sido inoculado contra la polio no es un evento, y de esta manera no cuenta como causa de polio. En resumen, no hay hechos negativos (tampoco hay hechos disyuntivos.) Finalmente, aunque los hechos son objetivos –*pace* Wittgenstein (1922)–, no constituyen el mundo. El mundo no es la totalidad de los hechos sino la totalidad de las cosas, esto es, los objetos materiales o mutables.

Finalmente, debemos distinguir los microhechos de los macrohechos. Considérese un sistema y sus componentes a algún nivel -por ejemplo, un organismo multicelular y sus órganos. Un *macrohecho* es un hecho que ocurre en el sistema como un todo. Un *microhecho* es un hecho que ocurre en, o le ocurre a, una de las partes del sistema en el nivel dado. Por ejemplo, para un tiburón recorrer el mar en busca de alimento es un macrohecho, mientras que digerir la presa devorada es un microhecho, es decir, un proceso en uno de sus subsistemas. Necesitaremos las nociones de macrohecho y microhecho cuando tratemos la micro y macroexplicación (véase sección 3.6).

1.8.2 *Fenómeno*

Un *fenómeno* es una apariencia perceptual para alguien: es éste el significado original de la palabra. Sin embargo, en el lenguaje ordinario, en la literatura científica y aún en filosofía, hoy en día 'fenómeno' se utiliza como sinónimo de 'hecho'; tanto es así que algunos autores hablan incluso de fenómenos observados y obsevables, así como de inobservados e inobservables. (Para algunos de estos desajustes véase, p. ej., van Fraassen, 1980.) Sin embargo, aunque hay hechos (o *noumena*) imperceptibles (o transfenoménicos), no existen los fenómenos sin organismos capaces de sentir. La apariencia es así una ganancia evolutiva, que emergió junto con los primeros animales equipados con sistemas sensoriales y nerviosos suficientemente complejos. Concordantemente, 'fenómeno observado' es un pleonasmo y 'fenómeno inobservable' es una *contradictio in adjecto.*

Como los fenómenos son eventos que ocurren en algún sistema nervioso, son hechos (más precisamente, son procesos relacionales sujeto-objeto o hechos semisubjetivos). Por lo tanto, los fenómenos son reales, pero el conjunto de los fenómenos es un subconjunto pequeño de la colección de los hechos. Y puesto que diferentes animales nunca están en el mismo estado y nunca pueden adoptar el mismo punto de vista, un hecho objetivo está destinado a aparecer en forma diferente (o no aparecer en absoluto) para diferentes animales en diferentes circunstancias. En resumen, no hay una correspondencia biunívoca entre hechos y apariencias. Como esta tesis es parte integral del realismo científico, merece su propio postulado (Bunge, 1980):

POSTULADO 1.10. Designe Φ la totalidad de los posibles hechos que ocurren en un animal *b* y su ambiente (inmediato) durante la existencia de *b*, y llámese Ψ a la totalidad de los posibles perceptos de *b* (o mundo fenoménico de *b*) durante dicho período. Entonces, Ψ se considera propiamente incluido en Φ, es decir, $\Psi \subset \Phi$.

Esta presuposición sugiere dos reglas:

REGLA 1.1. Todas las ciencias deberían investigar los hechos reales posibles y explicar los fenómenos (apariencias) en términos de ellos, en vez de a la inversa.

REGLA 1.2. Una ontología y una epistemología orientadas hacia la ciencia deberían enfocarse en la realidad, no en la apariencia.

Así, mientras que el fenomenista formula oraciones centradas en el sujeto tales como 'El fenómeno *x* aparece ante al sujeto *y* bajo la circunstancia *z*', el realista dirá 'El fenómeno *x*, que aparece ante al sujeto *y* bajo la circunstancia *z*, es causado por (o es indicativo de) el noumenon *w*' –una oración que involucra ítems tanto subjetivos como objetivos. Eventualmente, el realista intentará construir oraciones estrictamente objetivas tales como 'El hecho *x* ocurre bajo la circunstancia *z*'. (Para fenomenismo véase sección 3.2.2.)

1.9 CAUSACIÓN

1.9.1 *Uso amplio (o inflacionario) del término 'causa'*

El término 'causa' se usa en un sentido muy amplio en filosofía y también en biología, donde a lo que sea que "haga la diferencia" se le considera una causa. Por un lado, esto se debe a que el término 'causa' es parte del lenguaje ordinario, lo que aparentemente lo hace comprensible para todo el mundo sin mayor análisis. Por otro, se debe a una todavía influyente teoría aristotélica de la causación, que distinguía cuatro tipos de causa: la *causa materialis* (o sustancia), la *causa formalis* (o forma), la *causa efficiens* (o fuerza) y la *causa finalis* (o meta.) Esta doctrina de la causación aún tiene bastante vigencia entre los biólogos (véanse Riedl, 1980; Rieppel, 1990). Las causas finales sobreviven en los conceptos de teleonomía y programa genético (Mayr, 1982, 1988); se hace referencia a las causas formales en la denominada 'causación descendente' (Campbell, 1974; Popper y Eccles, 1977; Riedl, 1980; Petersen, 1983); y las causas materiales subyacen a la contraparte de la 'causación descendente', o sea, 'causación ascendente' cuando se le invoca, por ejemplo, al hablar de selección *por propiedades* (Sober, 1984.) Es más, las causas materiales están involucradas en la noción de causas últimas en oposición a las próximas, las que pueden ser causas materiales o eficientes (Mayr, 1982, 1988).

La doctrina aristotélica fue muy criticada al comienzo de los tiempos moder-

nos. En especial Francis Bacon desestimó las causas finales por considerarlas a la vez estériles y dedicadas a la religión, y Galileo sólo aceptaba las causas eficientes, que equiparaba con fuerzas motrices. Un siglo más tarde, David Hume rechazó incluso las causas eficientes, al afirmar que sólo hay conjunciones y sucesiones de eventos. Ésta se convirtió en la interpretación dominante de la causación porque se ajustaba a la filosofía de la ciencia más popular, el positivismo. Por supuesto, muchos científicos nunca siguieron en realidad el análisis humeano de la causación porque rara vez quedaban satisfechos con la mera descripción de eventos sucesivos, y en cambio buscaban explicación, lo que equivale a la búsqueda de mecanismos que subyacen a las observables conjunciones y sucesiones de los eventos.

1.9.2 *Causación como transferencia de energía*

Adoptaremos aquí un concepto restringido de causalidad, que se resume en la tesis de que la causación es una modalidad de generación de eventos mediante la transferencia de energía de una entidad a otra (Bunge, 1959a). Más precisamente, afirmamos que:

1. La relación causal relaciona eventos. Esto es, sólo los cambios pueden estar causalmente relacionados. Cuando decimos que la cosa *x* causó que la cosa *y* hiciera z, queremos decir que un cierto evento en *x* generó un cambio de estado *z* en *y*. En otras palabras, la causación es un modo del devenir, no del ser. En consecuencia, ni las cosas ni las propiedades ni los estados (en particular estados precedentes y sucesivos de la misma cosa -*pace* Mill, 1875 y otros-), y menos aún las ideas, están causalmente relacionados.

2. A diferencia de otras relaciones entre eventos, tales como la de simultaneidad, la relación causal no es externa a ellos: todo efecto es producido de alguna manera por su causa o causas. En otras palabras, la causación es un modo de generación de eventos.

3. Hay al menos dos mecanismos de causación diferentes, que denominamos *transferencia de energía fuerte* (o *generación de eventos* [completa]) y *transferencia de energía débil* (o *señal desencadenante*, o *desencadenamiento de eventos*.) El proverbial bate golpeando una pelota de beisbol ejemplifica el primer tipo de mecanismo causal; una cebra huyendo ante el mero avistamiento de un león es un ejemplo del segundo tipo de mecanismo causal, así como una flor abriéndose al sol. En el primer caso, toda la energía necesaria para el cambio de estado del *patiens* es provista por el *agens* causante. En el segundo caso, la transferencia de energía es demasiado pequeña como para producir todo el efecto en el *patiens*. Aun así, la pequeña cantidad de energía transferida por alguna señal desencadena algún macroevento en el *patiens*.

4. La generación causal de eventos es gobernada por leyes. Esto es, existen leyes causales o, al menos, leyes con un rango causal. (Empero, no todas las leyes son causales.)

5. Las causas pueden modificar propensiones (por ejemplo, huir o luchar) pe-

ro no son propensiones, y por lo tanto, no pueden elucidarse en términos probabilísticos (véase también Bunge, 1973c). En la expresión 'El evento *c* causa el evento *e* con probabilidad *p*' (o 'La probabilidad de que *c* cause *e* es igual a *p*'), los términos 'causar' y 'probabilidad' no son interdefinibles. En realidad, el concepto de causación precede lógicamente al de probabilidad condicional. Más aún, la causalidad estricta no es estocástica.

6. Aunque el mundo es determinado, no es estrictamente causal. Es decir, no todos los eventos interconectados están causalmente relacionados, y no todas las regularidades son causales. Por eso la causación es sólo uno de los modos de la determinación, aunque uno bastante radical. Así, el determinismo no debería concebirse de manera estrecha como determinismo causal. La ciencia es determinista en sentido amplio: requiere "sumisión" a leyes (de cualquier tipo) sin magia. En otras palabras, el determinismo científico en sentido amplio asume que no existen los milagros, y que las cosas no salen de la nada ni se convierten en la nada (Bunge, 1959.).

7. Las propiedades y los estados de alguna manera "hacen la diferencia" con respecto a futuros estados de cosas o eventos en cosas. Sin embargo, como no generan eventos debemos considerarlos condiciones o determinantes (en el sentido amplio), no causas. En otras palabras, una dilucidación de la causalidad en términos de, digamos, "lo que fuere que haga la diferencia" es demasiado burda como para distinguir la determinación en general de la causación o la determinación causal.

Nuestra opinión (ontológica) sobre la causalidad puede precisarse más con ayuda del ya introducido enfoque del espacio de los estados. Procedemos a suministrar tal elucidación. (El lector menos formalmente inclinado podrá prescindir de esta sección.)

1.9.3 *Enfoque de la causación a partir del espacio de los estados*

Consideremos dos cosas, o partes de una cosa, diferentes, de alguna(s) clase(s). Llamémoslas x e y, y llamemos $H(x)$ y $H(y)$ a sus respectivas historias en un cierto intervalo de tiempo. Luego, llamemos $H(y|x)$ a la historia de y cuando x actúa sobre y. Entonces podemos decir que x *actúa* sobre y si y sólo si, $H(y) \neq H(y|x)$, esto es, si x induce cambios en los estados de y. La *acción total* A (o *efecto*) de x sobre y se define como la diferencia entre la trayectoria forzada de y, esto es $H(y|x)$, y su trayectoria libre $H(y)$ en el espacio total de x e y. En símbolos, $A(x, y) = H(y|x) - H(y)$; del mismo modo para la reacción de y sobre x. La *interacción* entre las cosas x e y es la unión de $A(x, y)$ y $A(y, x)$.

Finalmente, considérese un cambio c (evento o proceso) en una cosa x en un período t_1, y otro cambio e (evento o proceso) en una cosa y en un período t_2. (Una de las cosas puede ser una parte de la otra, y los cambios y períodos se toman en relación con un marco de referencia común.) Decimos entonces que c es *causa* de e si y sólo si, (a) e comienza después de c, y (b) la historia $H(y|x)$ de y du-

rante t_2 se incluye en la acción total $A(x, y)$ de x sobre y durante el período $t_1 \cup t_2$. En este caso se llama a e un *efecto* de c.

Habiendo definido las nociones de causa y efecto, podemos ahora enunciar el *principio de causalidad estricta*, o sea "Todo evento es causado por algún otro evento". Para ser más precisos: "Sea x una cosa con estado nomológico de los eventos $E(x)$ (relativo a algún marco de referencia). Entonces, para cualquier $e \in E(x)$, existe otra cosa $y \neq x$, con estado nomológico del espacio de los eventos $E(y)$ con respecto al mismo marco de referencia, tal que $e' \in E(y)$ causa e". Una vez enunciado el principio de causalidad estricta, quisiéramos remarcar que se cumple sólo para un subconjunto propio (y tal vez pequeño) de todos los eventos, porque deja de lado dos rasgos ubicuos del devenir: la espontaneidad (automovimiento) y el azar.

Incluso si están de acuerdo con nuestro análisis de la causalidad, muchos filósofos no estarán contentos con él, ya que restringe el uso de los conceptos de causa y causalidad. En particular, muchos ejemplos de lo que hoy se consideran leyes causales y explicaciones causales no serían propiamente causales en nuestra concepción. Por ejemplo, la ley_2 de Einstein "$E = mc^2$" no es causal porque ni la energía ni la masa de un cuerpo son causas una de la otra: sólo se relacionan de modo constante; y la explicación del desarrollo en términos de genes no es una explicación causal, porque los genes no causan nada: sólo son moldes pasivos (véase sección 8.2.3.2). Sin embargo, tales leyes y explicaciones pueden denominarse 'determinísticas' en el sentido amplio. Así, debemos distinguir los eventos determinísticos (en sentido amplio) de los eventos causales propiamente dichos.

1.9.4 *Causas y razones*

La confusión entre causas y razones ha rondado el lenguaje ordinario hasta hoy. Esto puede deberse a racionalistas radicales, tales como Descartes, Spinoza y Leibniz, que equiparaban las causas con razones y demandaban que se diera una razón de todo cuanto existía y sucedía. Así, uno de los favoritos de Leibniz era su principio de razón suficiente: "Nada sucede sin una razón suficiente." Él combinaba el principio ontológico de causalidad con la regla o procedimiento que demanda que se dé una razón de, o se justifiquen, nuestras creencias y acciones. Sin embargo, en concordancia con nuestra distinción cosa-constructo, sostenemos que las razones deben distinguirse de las causas, ya que las primeras son constructos mientras que las segundas son eventos (reales.) Por ejemplo, las razones, y no las causas, pueden ser lógicamente correctas o inválidas; y las causas, pero no las razones, pueden cambiar el mundo. Sin embargo, pensar una razón y darla –es decir razonar– es un proceso cerebral que puede desencadenar una acción en el animal en cuestión. Entonces, las razones consideradas pensamientos (no constructos) pueden ser causalmente eficaces.

1.9.5 *Causación en biología*

Después de haber introducido nuestra opinión sobre la causalidad como una modalidad de generación de eventos, procedemos a examinar sus consecuencias para la biología, así como algunos usos y abusos del término 'causa' en biología.

Una primera consecuencia importante es comprender que ni las propiedades de las cosas ni las leyes son causalmente eficaces. (Para la opinión según la cual las propiedades son causalmente eficaces, véanse Sober, 1982, 1984; Sober y Lewontin, 1982; Walton, 1991. Suponemos, por ejemplo, que lo que Sober y Lewontin tienen en mente es que ciertas propiedades están legalmente relacionadas.) Otra consecuencia es que tampoco los estados precedentes de una cosa son causas de sus estados posteriores. Es decir, hoy no es la causa de mañana, la juventud no es causa de la vejez y la oruga no es la causa de la mariposa. Más precisamente, una etapa ontogénica no es la causa de otra, aunque la primera ciertamente codetermina (o "hace la diferencia") en la segunda. Como las cosas tampoco son causas, se sigue que los antepasados no están causalmente relacionados con sus descendientes por la vía de la reproducción -*pace* Wilson (1995), por lo que la relación antepasado-descendiente no es una relación vinculante. Tampoco las secuencias de ADN ni los genes pueden ser causa de algo, como caracteres fenotípicos, patrones de conducta o lo que fuere. Los genes contribuyen a determinar los rasgos fenotípicos pero no actúan sobre ellos. Esta consecuencia resulta de particular interés en la era de la biología molecular, cuando los genes son usualmente considerados como la *prima causa* o *primum movens* de los seres vivos (véase sección 8.2.3.2.) En suma, no hay causas materiales; sólo causas eficientes.

Con el surgimiento del pensamiento sistémico en biología y, particularmente, con la noción de niveles de organización, o mejor, niveles de sistemas (véase sección 5.3), se volvió obvio que un sistema de múltiples niveles, como un organismo, puede verse "desde abajo" o "desde arriba". Por esto la interpretación ascendente (o democriteana) sostiene que las propiedades y las leyes de niveles superiores de un sistema son determinadas por (y por ende reductibles a) las propiedades y leyes de sus componentes (p. ej., sus genes); brevemente, las partes determinan el todo. La opinión antagónica (o aristotélica) es la descendente, de acuerdo con la cual las propiedades y las leyes de nivel superior de un sistema determinan sus componentes. En otras palabras, el todo determina sus partes. Afirmamos que la verdad se encuentra en una síntesis de las interpretaciones ascendente y descendente, y que ninguna de éstas debería formularse en términos de causación, como lo hacen, entre otros, Campbell (1974), Popper y Eccles (1977), Riedl (1980), Petersen (1983), Vrba y Gould (1986) y Rieppel (1990.) Lo que tenemos aquí no son relaciones *causales* sino relaciones *funcionales* entre propiedades y leyes en diferentes niveles. Nuevamente, no existen las causas materiales ni las formales.

Distinguir entre causas *próximas* y *últimas* se ha convertido en un lugar común en biología (Mayr, 1982, 1988.) A fin de explicar cualquier rasgo morfológico o conductual, tal como el comportamiento de las aves migratorias, deberíamos tomar

en cuenta dos niveles de (presunta) causación. El nivel próximo consiste en el mecanismo fisiológico que produce o desencadena la conducta, tal como el efecto de la luz diurna decreciente y las temperaturas sobre la fisiología del ave, o los caminos del desarrollo en el caso de un carácter morfológico. En contraste, la causa última sería la historia evolutiva del órgano o conducta contenidos en el "programa genético", que por eso debería considerarse una causa material además de final.

Como resultará obvio a partir de las consideraciones precedentes, lo que se denomina 'causas próximas' sí pueden ser tales, pero no existen eventos que puedan considerarse causas últimas. Sin duda, la historia de un individuo, y en particular la historia de su material genético, son determinantes de los procesos de desarrollo que llevan a su morfología y conducta actuales, pero no la causan. Lo que es verdad es que la historia de un sistema ofrece algunas de las *condiciones* o *circunstancias* de los posibles cambios del sistema. De esta manera, la expresión 'causa última' debería ser remplazada por las expresiones *condición histórica* o *causa distal* en el caso de una genuina causa pasada.

1.10 AZAR Y PROBABILIDAD

1.10.1 *Azar y aleatoriedad*

La palabra *azar* designa al menos los siguientes siete conceptos diferentes:

1. *Azar como manifestación del destino o de la voluntad divina*. La mayor parte de las cosmovisiones primitivas y arcaicas no dan cabida al accidente ni a la aleatoriedad. De acuerdo con ellas, todo sucede o por necesidad natural o por designio sobrenatural. Entonces, el azar sólo sería aparente: un nombre para nuestra ignorancia de la necesidad, el destino o la voluntad divina. No hace falta decirlo, la ciencia no tiene uso en este concepto de azar.

2. *Azar como ignorancia de la necesidad*. El mundo se desenvuelve de acuerdo con leyes determinísticas (llamadas usualmente 'causales'), pero sólo tenemos conocimiento parcial de tales leyes, así como de las circunstancias, por lo que nuestros poderes predictivos son limitados. En otras palabras, el azar está en el ojo del observador. Ejemplo: juegos de azar. (Dios, a quien se supone omnisciente, no podría apostar de buena fe, ya que podría prever el resultado de todo juego de azar.)

3. *Azar como intersección de líneas "causales" inicialmente independientes*. Ésta es una aplicación de lo anterior a dos o más procesos. Ejemplos: el encuentro fortuito de dos amigos, el movimiento browniano y la propensión (causal) a sobrevivir y reproducirse en un hábitat particular.

4. *Azar como rasgo de inestabilidad o complejidad extremas*. Ejemplo 1: una palanca en equilibrio puede balancearse ya hacia la derecha, ya hacia la izquierda bajo la acción de una perturbación diminuta. Ejemplo 2: una pequeña alteración en la posición o velocidad inicial de la bolilla en un juego de ruleta tendrá probablemente un efecto importante.

5. *Azar como resultado del muestreo aleatorio (arbitrario).* Incluso si los objetos en estudio no son aleatorios, introducimos el azar en ellos cada vez que elegimos arbitrariamente (a ciegas) sólo algunos de ellos.

6. *Azar como resultado de la congregación de ítems mutuamente independientes de un mismo tipo,* tales como los estudiantes de un curso que provienen de distintas familias y trasfondos sociales.

7. *Azar como una disposición natural (no artificial) y básica (irreductible.)* Hasta ahora, sólo la física cuántica y la genética han usado este concepto. De hecho, se supone que eventos cuánticos tales como la desintegración radiactiva y ciertas mutaciones genéticas son irreductiblemente aleatorios, al ser el resultado de procesos cuánticos en los niveles nuclear y molecular, respectivamente. Mientras que algunos procesos aleatorios son endógenos, otros son desencadenados por colisiones con el material circundante o con rayos cósmicos. (Algunas mutaciones son aleatorias no porque no tengan expresión en la forma o función –un significado obsoleto de 'azar'–, sino porque son el resultado de procesos de colisión y dispersión que satisfacen las leyes de la mecánica cuántica, que es una teoría radicalmente probabilística. Así, un fotón de rayos gamma individual tiene una propensión definida a ionizar un átomo o disociar una molécula, evento que a su vez tiene una propensión definida a desencadenar una reacción química que constituirá un cambio génico.)

Concluimos que la ciencia moderna, en particular desde el advenimiento de la física cuántica, da por sentado que hay eventos aleatorios allí afuera y que existen cosas que poseen propensiones al azar. Esto es, el azar (o aleatoriedad) es objetivo y es una categoría ontológica. En otras palabras, el mundo ya no es visto como estrictamente determinístico en la manera descrita clásicamente por Laplace. Es más, si el universo fuera estrictamente causal, se recurriría a la aleatoriedad sólo porque ignoramos los detalles y las causas últimas. En consecuencia, el filósofo que crea en el determinismo estricto debe tomar el azar y la probabilidad como categorías epistemológicas. Para él, el azar es un sustituto de la ignorancia, y la probabilidad sólo mide su incertidumbre sobre los hechos. (Ésta es la tesis ontológica tácita de la probabilidad bayesiana o subjetiva: véase líneas más adelante, así como Rosenberg 1994.)

Sin embargo, la objetividad de la aleatoriedad no implica que el mundo sea completamente indeterminado, caótico o ilegal. La aleatoriedad es un tipo de orden: hay leyes$_1$ estocásticas o probabilísticas, e incluso los eventos aleatorios a menudo dependen de las circunstancias. El hecho de que algunos hechos aleatorios puedan depender de la ocurrencia de algunos otros hechos muestra que la aleatoriedad y la no aleatoriedad no son dicotómicas: la aleatoriedad viene en grados, o sea, los valores de probabilidad se encuentran entre 0 y 1. En consecuencia, podemos hablar de eventos y procesos completa o parcialmente aleatorios. Así, afirmar, por ejemplo, que la selección natural no es un proceso aleatorio (Sober, 1993) sólo significa que no es un proceso *completamente* aleatorio, aunque sí puede ser *parcialmente* aleatorio –lo cual, por supuesto, es cuestión de debate (véase sección 9.2).

En suma, el universo no es estrictamente determinístico sino determinístico en el sentido amplio de legal.

1.10.2 *La teoría matemática de la probabilidad y sus interpretaciones*

Si las propensiones al azar son propiedades objetivas de las cosas, puede considerarse que el concepto de probabilidad provee una *medida* de la tendencia (propensión o posibilidad) de que una cosa sufra un cierto evento. Sin embargo, los filósofos han usado (o abusado de) el concepto de probabilidad para elucidar nociones tan diversas como incertidumbre, plausibilidad, credibilidad, información, verdad, confirmación, simplicidad, causalidad y otras. Como no consideramos el concepto de probabilidad como un concepto para todo uso, debemos examinarlo brevemente en mayor detalle (véase Bunge, 1977a, 1981b, 1985a, 1988.)

1.10.2.1 La interpretación propensista

La teoría de la probabilidad es una rama de la matemática pura. De hecho, una medida de probabilidad es una función real P valorada y acotada (también abreviada Pr) que se define sobre una familia S de conjuntos abstractos. Las únicas condiciones que S debe satisfacer, o sea, las que garantizan la existencia (formal) de P, son las siguientes, puramente formales: (a) el complemento de todo miembro de S pertenece a S; (b) la intersección de dos miembros cualesquiera de S pertenece a S, y (c) la unión contable de cualesquiera elementos de S pertenece a S. La función P es especificada por dos o más axiomas, dependiendo de la teoría. (Uno de ellos es que si $a, b \in S$ y $a \cap b \neq \emptyset$, entonces $P(a \cup b) = P(a) + P(b) = 1$. Otra es que la probabilidad del complemento $\bar{a}$ conjunto a sea igual a $1 - P(a)$.) Nada se dice en estas teorías sobre los eventos (excepto en el sentido perogrullesco de ser miembros de la familia S) o de sus frecuencias, y menos aún de métodos para medir probabilidades. Estas nociones aparecen en las aplicaciones.

En la medida en que el espacio S se deje sin interpretar, la probabilidad no tiene nada que ver con nada extramatemático: $P(x)$, donde x pertenece a S, es sólo un número entre 0 y 1. De esta manera, si deseamos aplicar la noción de probabilidad a algo real, debemos *interpretar* este concepto puramente formal de probabilidad, es decir, dotarlo de algunos referentes extramatemáticos. (Incidentalmente, esta interpretación semántica no tiene nada que ver con definición o explicación.)

Al hacer esto, sostenemos que sólo hay una interpretación correcta en ciencia y tecnología: la interpretación *realista* o *propensista*. Más precisamente, asumimos que el espacio de probabilidad S debe ser interpretado como una colección de ítems fácticos aleatorios, y $P(x)$ para cada x en S, como la cuantificación de la posibilidad objetiva de x. Esta suposición presupone la hipótesis de que el azar es objetivo y una propiedad de cada uno de los hechos individuales que forman el espacio básico de probabilidad S: en resumen, *sin aleatoriedad no hay probabilidad.*

(Poisson introdujo en 1837 esta interpretación y desde entonces ha sido ampliamente utilizada por los físicos y popularizada por Popper bajo el nombre de 'interpretación propensista'; véase Popper, 1957b.)

Usando la noción de estado antes introducida podemos, por ejemplo, suponer que cada miembro del espacio de probabilidad S es un haz de estados. Entonces $P(x)$ puede interpretarse como la fuerza de la tendencia (o propensión) que la cosa tiene a residir en el estado o estados x. Del mismo modo, si x e y son estados (o conjuntos de estados) de una cosa, la probabilidad condicional de y dado x, esto es $P(y|x)$, se interpreta como la fuerza de la propensión de la cosa a ir del (los) estado(s) x al(los) estado(s) y.

1.10.2.2 Objeciones a la interpretación propensista

La interpretación propensista de la probabilidad ha sido criticada por algunos filósofos por diversas razones; bástenos mencionar sólo dos.

La interpretación propensista es presuntamente circular. Se ha sospechado que la interpretación propensista de la probabilidad es circular. Esto es, se ha sostenido que la noción de propensión se utiliza para explicar o definir la de probabilidad, y que el concepto de probabilidad se usa a su vez para definir o explicar el de propensión –una objeción repetida recientemente por Sober (1993.) Esta objeción se disuelve al distinguir correctamente entre las nociones de interpretación, definición, explicación y exactificación (o formalización.) Sostenemos que de lo que se trata aquí es de interpretación y exactificación. Más precisamente, debemos distinguir entre la interpretación propensista de la probabilidad y la *exactificación como probabilidad* de la noción presistemática de propensión. Una interpretación asigna referentes fácticos a un concepto matemático, por ejemplo, cosas que poseen propensiones al azar a un espacio de probabilidad S. En contraste, una exactificación consiste en dotar a un concepto fáctico intuitivo de una estructura matemática precisa, por ejemplo, matematizar o formalizar el concepto de propensión en términos de teoría de la probabilidad (Bunge, 1974b, 1977a.) Así, no se involucra circularidad alguna.

La interpretación propensista no se ajustaría al teorema de Bayes. Earman y Salmon (1992) han afirmado recientemente que la interpretación propensista resulta inadmisible porque el teorema de Bayes –una fórmula en la teoría matemática de la probabilidad– no siempre puede interpretarse en términos de propensión. Esto es cierto, pero no afecta a la interpretación propensista. Para ver por qué esto es así, comencemos por repasar el teorema en cuestión, el que a su vez requiere que recordemos la noción de probabilidad condicional.

La probabilidad de un hecho puede depender o no de la de otro hecho. En caso afirmativo, se habla de la probabilidad *condicional* $P(B \mid A)$ del hecho B con respecto al hecho A. Si en cambio A no representa diferencia para B, se dice que los dos hechos son estocásticamente independientes: $P(B \mid A) = P(B)$. Por ejemplo, la probabilidad de sacar una bola negra de una urna que contiene bolas blancas y negras depende de si la bola anterior fue repuesta. En caso afirmativo, los dos he-

chos son independientes; si no, el segundo depende del primero pero por supuesto no a la inversa: no hay simetría.

Estas nociones se exactifican como sigue. Sean A y B dos "eventos" (en el sentido técnico del cálculo de probabilidades), y llámese $P(A)$ y $P(B)$ a sus respectivas probabilidades. (Dichos "eventos" son sólo subconjuntos de un conjunto S dado, no necesariamente eventos en el sentido ontológico de la palabra, y las correspondientes probabilidades son medidas de dichos subconjuntos. Resulta útil pensar en S como el conjunto posibilidad, y en las medidas como áreas.) La probabilidad condicional de B dado A se define como $P(B \mid A) = P(A \cap B)/P(A)$. (En lenguaje ordinario, si A y B son eventos al azar, la posibilidad de que B ocurra si A ha ocurrido es igual a la posibilidad de la ocurrencia conjunta de A y B dividida entre la posibilidad de A. Si A y B son estocásticamente independientes, $P(B \mid A) = P(B)$, esto es, la ocurrencia de A no hace ninguna diferencia en la de B.) La probabilidad de A dado B o $P(A \mid B)$ se deriva de intercambiar A y B en la fórmula anterior: $P(A \mid B) = P(A \cap B) / P(B)$ Finalmente, al dividir esta fórmula entre la anterior resulta: $P(A \mid B) = P(B \mid A) \cdot P(A)/P(B)$. Éste es el *teorema de Bayes*, el eje alrededor del cual gira la interpretación subjetivista (o bayesiana) de la probabilidad (véase sección 1.10.2.4). Nótese la simetría de las fórmulas precedentes con respecto a las variables independientes A y B, pero cuidado: esta simetría matemática puede no tener una contraparte fáctica.

El teorema de Bayes no es problemático matemáticamente, pero su interpretación está muy lejos de ser directa. En las ciencias fácticas –en particular en mecánica estadística y física cuántica– A y B denotan a menudo estados de una cosa. En este caso, se considera que $P(B \mid A)$ es la probabilidad de que dicha cosa efectúe una transición del estado A al estado B. Brevemente: $P(B \mid A)$ mide la propensión de la cosa mencionada a experimentar la transición $A \rightarrow B$. Claramente, la probabilidad de transición o propensión $P(B \mid A)$ es una propiedad de la cosa en cuestión: átomo radiactivo, gen, biopoblación, sociedad o lo que fuere. Hasta ahora, todo bien. Parecería surgir una dificultad al tratar de computar la propensión a la transición inversa $B \rightarrow A$ usando el teorema de Bayes. De hecho, el proceso original $A \rightarrow B$ puede ser irreversible, como en los casos de radiación, desintegración radiactiva y evolución. En esos casos, la propiedad inversa $P(A \mid B)$ no se puede interpretar como la propensión a la transición inversa $B \rightarrow A$, simplemente porque este proceso no ocurre. En otras palabras, toda propensión a una transición puede exactificarse como una probabilidad condicional, pero la inversa es falsa. Esto no debería sorprendernos, porque la matemática pura no sabe nada de reversibilidad o irreversibilidad.

Sí surge una genuina dificultad cuando se interpreta una probabilidad condicional $P(B \mid A)$ como la propensión de una *causa* A a producir un *efecto* B. Así, Earman y Salmon (1992, p. 80*ss.*) afirman que mientras que $P(E \mid C)$ puede interpretarse como la tendencia de la causa C a producir el efecto E, la probabilidad inversa $P(C \mid E)$ no puede ser interpretada correctamente como una "propensión posterior" o propensión de que E haya sido causado por C, ya que esto equivaldría a invertir la flecha de la causación. Esta objeción es correcta, pero no afecta

la interpretación propensista. En verdad, una propensión es una propiedad de una *cosa*, no de sus cambios, especialmente causas o efectos. En particular, puede justificarse que hablemos de la propensión $P(B \mid A)$ de una *cosa* que experimenta la transición $A \rightarrow B$ o su inversa, pero no tiene sentido hablar de la propensión de ninguna transición en sí misma. Brevemente, la paradoja de Earman y Salmon se disuelve descubiriendo el referente, esto es, la cosa en cuestión. Esta precaución basta para salvar la interpretación propensista, así como para salvarnos a nosotros de caer en la vieja trampa de la probabilidad de las causas (véase, Bunge 1973c) .

En conclusión, no todos los términos de la fórmula de Bayes –o para el caso, de cualquier otra fórmula matemática– resultan interpretables en términos fácticos. La situación no es nueva. Por ejemplo, la econometría contiene ciertas ecuaciones que relacionan cantidades con precios que tienen soluciones negativas. Estas últimas obviamente carecen de sentido y por lo tanto deben descartarse. Del mismo modo, la mitad de las soluciones ondulatorias de las ecuaciones de Maxwell debe descartarse porque deberían interpretarse como representación de ondas que vienen del futuro.

Ahora examinemos brevemente las principales interpretaciones alternativas de la probabilidad: la interpretación lógica, la subjetivista (personalista o bayesiana) y la empírica (o frecuentista).

1.10.2.3 La interpretación lógica

De acuerdo con la interpretación *lógica*, la probabilidad es cierta relación entre proposiciones: explica la noción de confirmación de una hipótesis a través de la evidencia empírica relevante a ella. Por ejemplo, si $P(h)$ denota la probabilidad (apriorística o inicial) de una hipótesis h, entonces $P(h \mid e)$ es la probabilidad de la hipótesis h dado cierto fragmento de evidencia e. (Lo que se quiere expresar en realidad es la plausibilidad o verosimilitud de las proposiciones correspondientes.) El problema principal con esta interpretación es que no existen procedimientos objetivos para asignar probabilidades a proposiciones. En ciencia, las asignaciones de probabilidad se hacen a fuerza de mediciones o de mecanismos aleatorios (hipotéticos), tales como barajar a ciegas, y en ciencia sólo se asigna probabilidades a los hechos (no a las proposiciones.) Dada la interpretación lógica, ¿qué probabilidad debería asignarse a una hipótesis probabilística tal como "La probabilidad de que una moneda (honesta) caiga cara es de 0.5"? ¿Probabilidad 1? ¿Y qué significa 'probabilidad' en esta proposición, si el concepto de probabilidad se refiere a proposiciones, no a hechos? En resumen, lo que necesitamos aquí es el concepto de verdad parcial, no el de probabilidad. (Más información sobre esto en la sección 3.8.)

Similarmente, la probabilidad no debería confundirse con la *plausibilidad* –una propiedad de las proposiciones. Una hipótesis es plausible o implausible sólo a la luz de un trasfondo de conocimientos en la medida que aún no ha sido verificada. Pero una vez que los ensayos se han realizado, y siempre y cuando hayan sido ra-

zonablemente concluyentes, decimos que la hipótesis se ha confirmado (o refutado), de manera que -al menos por el momento- se justifica que creamos que es (parcialmente) verdadera (o falsa.) Esto es, después de un ensayo concluyente ya no necesitamos el concepto de plausibilidad porque puede asignarse a la hipótesis un valor de verdad, y no una probabilidad ni una plausibilidad *a priori*. En suma, la probabilidad no cuantifica la verdad ni la plausibilidad.

Incidentalmente, tal como sucede con la interpretación propensista, el teorema de Bayes da origen a una paradoja concerniente a la interpretación lógica. Como la probabilidad $P(h)$ de una hipótesis h es desconocida, debe asignarse arbitrariamente. Sin embargo, la probabilidad "inversa" $P(e|h)$ de encontrar el resultado empírico e en la suposición de que se cumple la hipótesis h dependería de la probabilidad apriorística de h. Sin embargo, como ésta no se conoce, sería un caso de extracción de conocimiento a partir de la ignorancia.

1.10.2.4 La interpretación subjetivista

La interpretación *subjetivista* concibe todo valor de probabilidad $P(x)$ como una medida de la fuerza de la creencia de alguien en x, o de la exactitud o certeza de su información sobre x. Esta interpretación fue la más antigua desde el punto de vista histórico y sigue siendo muy popular porque está en armonía con el determinismo clásico. Una objeción de naturaleza matemática contra la interpretación subjetivista es que la fórmula "$P(x) = y$" no contempla un sujeto u ni las circunstancias v en las que u estima su grado de creencia en x como y bajo v. En otras palabras, los enunciados elementales de la teoría de probabilidad son de la forma "$P(x) = y$", no "$P(x, u, v) = y$". Tales variables adicionales son supernumerarias, pero deberían introducirse a fin de dar cuenta del hecho de que diferentes sujetos asignan diferentes credibilidades al mismo ítem, así como del hecho de que el mismo sujeto puede cambiar sus creencias no sólo a la luz de información nueva sino como resultado de abruptos cambios de humor. En suma, la interpretación subjetivista de la probabilidad es adventicia en el sentido de que no se ajusta a la estructura del concepto matemático.

Para demostrar la diferencia entre indeterminación objetiva e incertidumbre subjetiva, considérese el siguiente ejemplo discutido por el famoso investigador en biometría M.S. Bartlett (1975, pp. 101-104.) De tres prisioneros, Mateo, Marcos y Lucas, dos han sido seleccionados para su ejecución, pero ninguno de ellos sabe quiénes son. Mateo no puede soportar la incertidumbre y pregunta al carcelero: "Como Marcos o Lucas están condenados, no me darás información alguna sobre mis probabilidades si me confías el nombre del que va a ser ejecutado, Marcos o Lucas." El carcelero está de acuerdo y contesta verazmente que Marcos será ejecutado. Entonces Mateo se sintió más feliz, al razonar así: (a) antes de que el carcelero respondiera, su propia probabilidad de ejecución era 2/3; (b) después sólo hay dos candidatos para la ejecución, él mismo y Lucas, por lo que su probabilidad de ejecución cayó de 2/3 a 1/2 . ¿Se justifica que Mateo se sienta más feliz? Ése sería el caso si el director de la prisión hubiera decidido elegir las

dos víctimas al azar. Pero no es éste el caso: a tal punto, que hasta el carcelero sabe quiénes son las víctimas designadas. Como su destino fue sellado desde el comienzo de la historia, no hay probabilidades involucradas, aun cuando hay incertidumbre de parte de los prisioneros. Es más, la incertidumbre de Mateo sobre su propio destino no se redujo al oír la repuesta del carcelero: no podía haber ningún consuelo racional en afirmar que él era una de las víctimas. Moraleja 1: la probabilidad (a menos que sea de 0 o 1) implica incertidumbre, pero lo inverso es falso. Moraleja 2: el bayesianismo puede traer consuelo (o desconsuelo) aunque no más que las mentiras -pero no la verdad objetiva. El bayesianismo no puede, dado que descansa sobre la falsa suposición de que puede asignarse a cualquier evento, ya sea o no objetivamente aleatorio, de manera realista, una probabillidad subjetiva *a priori*.

Considérese luego el caso de un proceso realmente aleatorio que ya ha recorrido su curso sin que conozcamos completamente, sin embargo, el resultado. Supongamos que se sabe que una mujer tiene dos hijos, uno de ellos varón. Obviamente, el otro es niño o niña. El subjetivista, que no conoce el sexo (genético) del segundo niño, dirá que la probabilidad de que sea un niño es 1/2. En contraste, el objetivista rehusará asignar una probabilidad a la *creencia* en cuestión. Argumentará que las probabilidades (objetivas) (de los eventos subyacentes) sólo tienen sentido durante el período entre la cópula y la fertilización, esto es, durante el período en el que hay una probabilidad de que un espermatozoide portador de un cromosoma X o Y alcance primero al óvulo y lo fertilice. Después de la fertilización, la probabilidad se desvaneció. (Si se prefiere, una de las probabilidades se expandió a 1 mientras que la otra se contrajo a 0.) La ignorancia de este hecho demostrada por el subjetivista no cambia nada sobre el hecho mismo. Confunde la probabilidad de un evento con el grado de certeza de su creencia en la ocurrencia del evento -un caso de confusión de la física con la psicología.

1.10.2.5 La interpretación frecuentista

Los empiristas tienden a creer que la alternativa correcta a la probabilidad subjetiva es la *frecuencia*. Esta interpretación, propuesta por primera vez por J. Venn en 1866, aún es popular entre algunos científicos. Nuestras objeciones a esta interpretación son las siguientes. La probabilidad y la frecuencia, aunque relacionadas, son conceptos diferentes. Por un lado, mientras que el primero es teórico el segundo es empírico. Por el otro, tienen diferente estructura matemática. De hecho, mientras que una función de probabilidad está definida sobre un espacio abstracto de probabilidad *S*, una función de frecuencia está definida, para cada procedimiento de muestreo, sobre un subconjunto finito de *S*, o sea, la colección de los eventos realmente observados (Bunge 1973b.) Consecuentemente, un enunciado de probabilidad no tiene exactamente la misma clase de referencia que el enunciado de frecuencia correspondiente: el primero usualmente se refiere a un hecho *individual* mientras que el segundo es acerca de todo un conjunto (o "colectivo") de hechos. Más aún, cada frecuencia es la frecuencia de observa-

ciones reales de hechos de algún tipo, mientras que una probabilidad puede interpretarse como la cuantificación de una potencialidad que aún resta actualizar. Entonces, equiparar las probabilidades con las frecuencias implica rechazar la posibilidad real (objetiva) y adoptar así una ontología actualista, de acuerdo con la cual nada es realmente posible.

El procedimiento correcto sobre las relaciones entre probabilidad y frecuencia no es igualarlas sino aclarar sus diferencias y relaciones. En nuestra interpretación, la frecuencia está entre los *estimadores* o *indicadores* de la probabilidad. Más precisamente, algunos modelos probabilistas pueden verificarse enriqueciéndolos con una hipótesis indicadora de la forma "El valor numérico de la probabilidad p es aproximadamente igual a la frecuencia relativa a largo plazo f". (Al hacer esto, se da a las probabilidades un número adimensional tal como $\sqrt{2}/2$ o 0.5 mientras que las frecuencias se dan en porcentajes tales como 70%.) En otras palabras, a menudo hay *estimaciones* de frecuencia de una probabilidad, pero la *interpretación* frecuentista de la probabilidad es errónea. En consecuencia, la expresión 'probabilidad estadística', usada por algunos estadísticos y filósofos, es un oxímoron. Sin embargo, resulta útil indicar que se están usando probabilidades estimadas objetivamente en vez de probabilidades subjetivas (o personales.)

1.10.2.6 Conclusión

Para concluir, nos quedamos con la interpretación propensista como la única interpretación de la teoría matemática de la probabilidad utilizable en ciencia fáctica y tecnología. En consecuencia, no sirve de nada abocarse a juegos de probabilidades académicos en boga tales como meditar sobre la probabilidad de árboles filogenéticos, sobre la probabilidad mediante la cual una "causa" explica mejor que otra, o acerca de las probabilidades con las que una conclusión se sigue de sus premisas.

1.11 PROYECCIÓN

Los filósofos habrán notado que la ontología esbozada en las secciones precedentes es una continuación de ciertas tradiciones filosóficas. Resumamos, entonces, unos pocos *ismos* filosóficos, que pueden encontrarse explícita o implícitamente en nuestra ontología. (Además del riesgo de indicar parcialidad y dogmatismo, un solo *ismo* es simplemente insuficiente para dar cuenta de la variedad, riqueza y mutabilidad tanto del mundo como de nuestro conocimiento de él.)

Primero, nuestra ontología es un obvio ejemplo del *materialismo*, ya que sólo admite existentes materiales y descarta los objetos inmateriales de existencia autónoma tales como las ideas-en-sí mismas. Consideramos a los objetos ideales como constructos, esto es, ficciones, pensadas por entidades materiales equipadas con órganos capaces de "mentalizar", es decir, cerebros. (Más información en los

caps. 3 y 6.) Podemos denominar a esta interpretación de los constructos *materialismo construccionista.*

Sin embargo, nuestra ontología no condona el *fisicalismo* (o materialismo reduccionista), que toma todas las cosas como entidades físicas. (Véase también sección 3.6.2.) Nuestro materialismo abraza el *sistemismo* y el *emergentismo*. Afirmamos que en la presente etapa de la evolución del universo hay al menos cinco géneros de sistemas o niveles de sistemas: físico, químico, biológico, social y técnico. (Por supuesto, todos estos niveles pueden dividirse en numerosos subniveles. Examinaremos la estructura de la jerarquía de niveles de sistemas con respecto a niveles biológicos en la sección 5.3.) Todo sistema en un nivel dado se caracteriza por novedades cualitativas, esto es propiedades que no ocurren en entidades a los niveles inferiores. Por esto los niveles superiores no pueden ser reducidos a (identificados con) el nivel físico. (Nótese que ésta es una tesis ontológica. Si las propiedades emergentes pueden explicarse y predecirse dentro de ciertos límites a partir del conocimiento de las propiedades de niveles inferiores, ésta es una instancia de reducción epistemológica.)

Aceptar el sistemismo y el emergentismo significa adoptar el *pluralismo* en lo que respecta a la diversidad de cosas y procesos, esto es, la pluralidad de los tipos de cosas y leyes. Sin embargo, en otros aspectos nuestra ontología es *monista*, dado que reconoce sólo una sustancia que posee propiedades y experimenta cambios (materia) y afirma que sólo existe un mundo, es decir, el universo (material.)

Más aún, nuestra metafísica es *dinamicista* y *evolucionista* dado que asume que toda cosa se encuentra en flujo en algún aspecto u otro, y que todo el tiempo surgen nuevos sistemas y decaen viejos sistemas. Sin embargo, no es dialéctica porque no tenemos uso para las creencias de que toda cosa es una unidad de opuestos o de que todo cambio consiste en, o es causado por, alguna contradicción óntica, tal como un torneo.

Finalmente, nuestra metafísica abraza el *determinismo* en su sentido más amplio: sostiene que todos los eventos y procesos son legales, y que ninguna cosa sale de la nada o desaparece en la nada. No asume, sin embargo, el causalismo, ya que admite la espontaneidad (esto es, eventos no causados) y la aleatoriedad. Pese a la aleatoriedad y los procesos caóticos (en el sentido de la moderna "teoría" del caos), el mundo no es realmente caótico o indeterminado en el sentido tradicional de ilegal. Por ejemplo, las computadoras pueden descomponerse espontáneamente pero no aparecen y desaparecen, y no se convierten en elefantes rosas. (Ni siquiera los elefantes hacen esto.)

Sostenemos que los investigadores en las ciencias fácticas (naturales y sociales) estudian exclusivamente cosas materiales -aunque por supuesto con la ayuda de conceptos. Así, se comportan como materialistas. En rigor, en contraste con muchos filósofos de la ciencia, sólo pocos científicos se dan cuenta de este compromiso tácito con el materialismo o se preocupan de reconocerlo (p. ej., Levins y Lewontin, 1982, 1985; Mayr, 1982). Las siguientes razones pueden dar cuenta de ello. Primero, sólo pocas personas están interesadas en poner al desnudo sus propias presuposiciones: ésta es una tarea típicamente fundacional y filosófica. Se-

gundo, el materialismo no es para los débiles de carácter (tampoco lo es el idealismo.) Éstos prefieren versiones diluidas de la sustancia más fuerte. Tales doctrinas rebajadas son una mezcla de ingredientes materialistas e idealistas: sostienen que mientras que *algunos* objetos reales son materiales, *otros* son inmateriales. (Aunque popular, éste no es un compromiso viable. Si no se supone que los reinos material e inmaterial están completamente separados, semejante ontología debería explicar cómo los objetos materiales e inmateriales pueden interactuar concebiblemente. No hace falta decirlo, nadie ha producido una teoría semejante.) Tercero, declararse materialista (y por lo tanto, implícitamente, ateo) equivale a hacer sonar la campanilla del leproso: los materialistas convictos y confesos son rápidamente aislados o, lo que es peor, puestos en compañía indeseable (p. ej., materialistas éticos, reduccionistas radicales, marxistas no reformados, etc.).

No debería causar sorpresa entonces que muchos científicos prefieran el rótulo 'naturalismo' antes que 'materialismo'. Sin embargo el naturalismo es, ante todo, lo opuesto al supernaturalismo: no excluye automáticamente la existencia de objetos inmateriales en la medida en que no sean entidades sobrenaturales. (Incidentalmente, el término 'natural' no tiene aquí nada que ver con la distinción entre lo natural y lo artificial: tanto las cosas naturales como las artificiales son no-sobrenaturales, y por lo tanto, naturales en el sentido del naturalismo ontológico.) Rechazar las entidades sobrenaturales es, por supuesto, un paso necesario hacia una ontología científica, pero no es suficiente. A menos que alguien produzca una teoría ontológica consistente, así como evidencia científica, de la existencia de objetos inmateriales tales como almas y espíritus desencarnados, números y teorías, poemas y sinfonías, etcétera, no podemos otorgarles ningún estatus ontológico en una ontología científica. Por lo tanto, la regla de Ockham *entia non sunt multiplicanda praeter necessitatem* exige para empezar la metafísica más parsimoniosa a tono con la ciencia contemporánea, a saber, materialismo o naturalismo (materialista.)

2 FUNDAMENTOS SEMÁNTICOS Y LÓGICOS

La semántica es vista popularmente como un mero asunto de elección de palabras. Sin embargo, la semántica es una disciplina rigurosa. Es la familia de tres campos de investigación: semántica lingüística, que investiga los significados de los signos; semántica matemática, que investiga los modelos (o ejemplos) de teorías matemáticas abstractas (véanse también secciones 3.5 y 9.3.2), y semántica filosófica, que estudia los conceptos de sentido, referencia, significado, verdad y sus afines. Estos tres campos, no obstante, tienen poco en común.

Aquí trataremos sólo algunos de los conceptos clave de la semántica filosófica y, más particularmente, aquéllos relevantes para la filosofía de la ciencia fáctica. Éstos son los constructos que, a diferencia de los de la matemática pura, se refieren a cosas reales o al menos putativamente reales, tales como el concepto de evolución y la teoría de la selección. Estamos interesados principalmente en los conceptos de significado y de verdad fáctica (a diferencia de la formal.) Por ejemplo, queremos saber cómo hallar la connotación (sentido) y la denotación (referencia) del concepto de evolución. Sin embargo, en el presente capítulo introduciremos sólo algunas nociones elementales en la medida en que resulten de interés general o sean relevantes para los temas subsiguientes, tales como la concepción de las teorías científicas. (Más sobre la semántica de la ciencia fáctica en Bunge 1974a, b.) Como la noción de verdad también involucra consideraciones epistemológicas, será examinada más tarde (sección 3.8.1).

2.1 CONCEPTO Y PROPOSICIÓN

Las unidades del significado y por lo tanto los bloques de que está construido el discurso racional son los *conceptos*, tales como "totalidad", "biosistema", "está compuesto" y "proteína". Los conceptos son de dos tipos básicos: *lógicos* y *no lógicos*. Conceptos lógicos son, por ejemplo, "no", "y", "todo" y "tiene como consecuencia" (o su contraparte "se sigue lógicamente de".) Éstos mantienen unidos a los conceptos o proposiciones (no lógicos), tal como en "Todos los biosistemas están compuestos de proteínas" y "*p* tiene como consecuencia *p* o *q*". Ejemplos de conceptos no lógicos son "biosistema", "proteína" y "está compuesto"; más sobre esto último poco después.

Los conceptos se utilizan para formar proposiciones (enunciados.) Una proposición "dice" algo acerca de algún o algunos ítems, esto es, es una afirmación o una negación. En consecuencia, las proposiciones pueden ser verdaderas o falsas, y sólo ellas pueden ser los sujetos de las pruebas. Como los conceptos no afirman

ni niegan nada, no pueden ser verdaderos o falsos, y así la categoría de contrastabilidad no se les aplica. Los conceptos sólo pueden ser exactos o confusos, aplicables o inaplicables, fructíferos o estériles.

Nótense los siguientes puntos sobre proposiciones. Por un lado, las proposiciones no deberían confundirse con oraciones. En verdad, la misma proposición, tal como "Yo te amo" puede ser expresada por muchas oraciones, tales como 'You are loved by me', 'Ich liebe dich' y 'Je t'aime'. Más aún, una oración gramaticalmente correcta, tal como 'El mundo mundea' de Heidegger, no necesariamente designa una proposición. Por otro, las proposiciones no deberían confundirse con pensamientos: las primeras son objetos conceptuales y por lo tanto ficciones, los segundos son procesos cerebrales. Así 'Este libro es tonto y aburrido', 'Este libro es aburrido y tonto', 'Tonto y aburrido es este libro', 'Aburrido y tonto es este libro' son diferentes oraciones que expresan pensamientos distintos, pero se agrupan en la misma proposición. Esto es, elegimos ignorar sus diferencias materiales y lingüísticas, fingiendo que son lo mismo (una proposición). (Debido a nuestra distinción cosa-constructo, distinguimos a los conceptos y proposiciones con comillas dobles, mientras que los signos, símbolos, palabras y oraciones se colocan entre comillas simples.) Finalmente, las proposiciones no deberían confundirse con propuestas, tales como "Comprobemos esta proposición". Las propuestas son invitaciones a la acción y por lo tanto pueden ser aceptadas o declinadas, pero no puestas a prueba para averiguar si son verdaderas o falsas.

Ahora desarrollemos los conceptos no lógicos. Los conceptos no lógicos pueden dividirse en *individuos* tales como "Darwin"; *colecciones* de individuos (conjuntos, clases o tipos) tales como "humanidad"; y *predicados* tales como "vive" o "está vivo", y "humano" o "es humano". En lógica tradicional "es", como en "Darwin es humano" se llamaba la *cópula* y se trataba como un concepto lógico separado, aunque nunca definido. Se decía que su función era unir o juntar el predicado (p. ej., "humano") al individuo o sujeto (p. ej., "Darwin"). Sin embargo, en lógica moderna o matemática 'es'/ 'está' y sus cognatos ('son', 'estuvo', etc.) designan cinco conceptos diferentes, sólo uno de los cuales involucra predicación, tal como "es humano". Así la proposición "Darwin es humano" se analiza en dos conceptos –"Darwin" y "es humano"– no en tres. (En verdad, se simboliza "Hd", donde H designa al predicado "es humano" y d al individuo Darwin.) En cambio, el enunciado equivalente "Darwin es un miembro de [o pertenece a] la especie humana" sí está constituido de tres conceptos, uno de los cuales, "pertenece a" (designado por $\in$) era desconocido para la lógica tradicional. (En símbolos, "$d \in \mathcal{H}$", donde $\mathcal{H}$ designa a la colección de todos los humanos, esto es la especie *Homo sapiens*.) Lo mismo vale para la inclusión de clases (designada por $\subset$), tal como en "Los humanos son mamíferos", o más brevemente "$\mathcal{H} \subset \mathcal{M}$". (Véase también capítulo 7.) Finalmente, la palabra de aspecto inocente 'es' designa dos conceptos más en lógica matemática, los de identidad (=), como en "1 es el sucesor de 0" y el de igualdad (:=), tal como en "El coseno de 0° es 1", o "cos 0° :=1". Volviendo a los predicados, de la sección 1.3 se recordará que un predicado puede ser unario, tal como en "vive"; binario, tal como en "desciende"; ternario, tal

como en "media", y así sucesivamente. Un predicado unario denota una propiedad intrínseca de un individuo (simple o complejo); un predicado binario denota una relación entre dos ítems; un predicado ternario una relación entre tres individuos y así sucesivamente.

Un tipo particular de relación se señalará aquí porque es importante y porque la encontraremos en esta ocasión: la de función matemática. Una función matemática empareja cada miembro de una clase con un solo miembro de otra. Más precisamente, una función de un conjunto A en un conjunto B asigna a cada elemento de A un solo elemento de B. Se escribe: $f: A \rightarrow B$, o $y = f(x)$, donde x pertenece a A e y es la imagen de x en B. Se denomina a A el *dominio* y a B el *codominio* de f. Por ejemplo, la edad es representable como una función del conjunto de las cosas en los números reales positivos (en símbolos obvios, $a: \Theta \rightarrow \mathbb{R}^+$ y, para una cosa particular $\upsilon \in \Theta$, $a(\upsilon) = t$, donde $t \in \mathbb{R}^+$.) Si un miembro arbitrario y de B es un número o una n-upla de números, se denomina a y una *variable* (*numérica*.) (Una n-upla es una lista ordenada de n ítems, donde n es un entero positivo.)

Desde un punto de vista epistemológico o metodológico podemos distinguir dos tipos de variable y tres tipos de función. Las variables pueden representar propiedades observables o inobservables. Las funciones pueden relacionar (a) variables observables, tales como las entradas y salidas de un sistema; (b) propiedades inobservables, tales como densidad de población y competencia, o (c) variables inobservables con variables observables, tales como ajuste con número de crías. Las funciones de la tercera clase relacionan a la teoría con los datos, y algunas de ellas funcionan como hipótesis indicadoras (véanse secciones 3.2.2, 3.5.5, y 3.5.7.1.)

Como vimos líneas atrás, la relación entre predicados e individuos es de *predicación* o *atribución*. Los predicados se atribuyen a individuos, pares, tríos o n-uplas. (Nótese que no todos los individuos son necesariamente irreductibles: algunos de ellos pueden ser analizables en colecciones. En otras palabras, la distinción individuo-colección puede depender del nivel de análisis o del contexto. Nótese también que estamos hablando del concepto de individuo lógico-semántico, no del ontológico.) La atribución del predicado F al individuo b resulta en la proposición Fb, que se lee "b es un F" (recuérdese sección 1.3). La atribución del predicado G al par ordenado $\langle a, b\rangle$ resulta en la proposición Gab, y el resultado de atribuir el predicado H a la n-upla $\langle a, b, \ldots, n\rangle$ es la proposición $Hab...n$. Asimismo, podemos decir que la proposición Fb es el valor de la función F en b; y de igual modo Gab es el valor de la función G en $\langle a, b\rangle$, etc. En general, un predicado puede concebirse como una función de individuos a proposiciones. (Más en la sección 2.2.)

La relación entre individuos y colecciones es la de pertenencia, designada por el símbolo $\in$. Por ejemplo, la proposición "Darwin es un ser humano" puede analizarse como "Darwin pertenece a (es un miembro de) la clase de los seres humanos", o brevemente "$d \in \mathcal{H}$". Nótese que en matemáticas los términos 'conjunto' y 'colección' son sinónimos, y toda colección tiene una membrecía fija. Esto no es así en las ciencias fácticas, donde a menudo se estudian colecciones con una

membrecía variable: piénsese en un taxón biológico. Semejante colección variable es un conjunto propiamente dicho sólo en un tiempo dado, ya que puede contener diferentes miembros en tiempos diferentes. Es más, en el caso de taxones extintos, la membresía de una colección variable puede, en algún momento, ser incluso igual al conjunto vacío. (Más sobre colecciones variables en sección 7.2.1.3.)

Finalmente, tenemos la relación entre predicados y clases. Sin embargo, este tema merece una sección propia porque abre el camino a la elucidación de la noción semántica de significado.

2.2 EXTENSIÓN Y REFERENCIA

Todo predicado determina una clase llamada extensión del predicado. Ésta es la colección de individuos (parejas, tríos, etc.) que poseen la propiedad designada por el predicado en cuestión. Por ejemplo, la extensión del predicado unario "metaboliza", tal como ocurre en la proposición "Todas las cosas vivientes metabolizan", es la clase de las cosas vivientes (o biosistemas.) En símbolos obvios, $\mathcal{E}(M) = \{x \in \mathcal{S} \mid Mx\}$, o sea: la extensión de *M* es la colección de individuos en el conjunto $\mathcal{S}$ (de los sistemas) que tienen la propiedad *M*. La extensión del predicado binario "desciende", tal como ocurre en el esquema proposicional "*x* desciende de *y*", o brevemente "*Dxy*", es la colección de pares ordenados ⟨organismo ancestral, organismo descendiente⟩. Brevemente: $\mathcal{E}(D) = \{\langle x, y\rangle \in \mathcal{A} \times \mathcal{D} \mid Dxy\}$, donde $A \times D$ es la colección de pares ⟨antepasado, descendiente⟩; también llamada *producto cartesiano* de $\mathcal{A}$ por $\mathcal{D}$. (En el caso de la reproducción sexual la extensión es más compleja, y consta de ⟨antepasado materno, antepasado paterno, organismo descendiente⟩.) No hace falta decir que la extensión de un predicado ternario es un conjunto de tríos, el de un predicado cuaternario un conjunto de cuartetos, y así sucesivamente. Sin embargo, algunos predicados tienen una extensión vacía, es decir no se aplican verazmente a nada. En otras palabras, algunos predicados no corresponden a propiedades sustanciales de cosas (recuérdese la distinción propiedad-predicado de la sección 1.3). Ejemplos: "fuerza vital", "fantasma", "inmortal". Cuando la extensión de un predicado *F* es vacía, se escribe: $\mathcal{E}(F) = \varnothing$.

Los nominalistas, entre ellos Woodger (1952), sólo admiten individuos. Así, desconfían de los conceptos, en especial de los predicados. Por eso creen que toda propiedad debe entenderse como la colección de los individuos que la poseen. Esto es, confunden a las propiedades con sus extensiones. Este enfoque *extensionalista* está abierto a la siguiente objeción. Denoten P_1 y P_2 dos propiedades de entidades de un tipo *K*, por ejemplo 'emplumado' y 'poseyendo una unión intertarsal'. Como todos los *Ks* (aves recientes) poseen tanto P_1 como P_2, de acuerdo con el nominalismo P_1 es idéntica a P_2, lo que contradice la hipótesis de que P_1 y P_2 son diferentes (véanse también Bunge, 1974a, 1983a; Sober, 1981).

En suma, la expresión en lenguaje ordinario '*b* es un *F*' puede concebirse como '*Fb*', donde *F* es una función, o como '*b* es un miembro de la extensión de *F*', esto es $b \in \{x|Fx\}$. Ordinariamente la última concepción de los predicados, que se denomina *extensional*, presupone a la primera, llamada *intensional*. Esto es porque debemos saber de qué predicado estamos hablando y qué propiedad conceptualiza antes de poder investigar su extensión. Sin embargo, ambas construcciones son matemáticamente equivalentes.

¿A qué se refiere una proposición de la forma "*b* es un *F*" o, más brevemente, "*Fb*"? Obviamente, *Fb* es sobre *b*: atribuye *F* a *b*. Ahora bien, hemos visto que *Fb* puede concebirse como el valor de la función *F* en *b*. Sin embargo, el individuo *b* puede pertenecer a más de una colección: puede ser un organismo, un animal, un insecto, un parásito, un antepasado, etc. (Nótese que una colección puede contener un solo miembro. Tal colección se denomina *colección unitaria*; pero ésta no es lo mismo que su miembro solitario, esto es $\{b\} \neq b$.) Entonces, el predicado *F* puede concebirse como una función de la colección *D* de individuos en el conjunto *P* de todas las proposiciones de la forma *Fb*; en resumen, $F: D \to P$.

A continuación asumimos que el predicado unario *F* se refiere a cualquiera y a todos los miembros del dominio *D* de *F*. En otras palabras, *la clase de referencia* del predicado *F* es igual a su dominio *D*, o en resumen $\mathscr{R}(F) = D$. Por ejemplo, la clase de referencia del concepto de energía es la colección de todas las cosas materiales actuales y posibles, y la de ontogénesis (desarrollo) es la totalidad de los organismos. Nótese que, dado que todas las cosas (materiales) poseen energía, la extensión y la clase de referencia de "energía" coinciden. En contraste, como aparentemente no todos los organismos se desarrollan (p. ej., algunos organismos unicelulares no parecen sufrir un desarrollo propiamente dicho: véase capítulo 8), la extensión de "ontogénesis" (*O*) está propiamente incluida en su clase de referencia, esto es: $\mathscr{E}(O) \subset \mathscr{R}(O)$.

A fin de hallar las clases de referencia de predicados de orden superior, tales como "come" (binario) o "media" (ternario), debemos identificar sus respectivos dominios. Como son los animales los que comen, y como lo que comen son otros organismos o partes de ellos, el predicado "come" (*E*) se aplica a cualquier par ordenado ⟨animal, organismo (alimento)⟩. En términos técnicos, el dominio de la función *E* es el producto cartesiano de la colección *A* de los animales por la colección *F* de los organismos alimento. Estipulamos que la clase de referencia de *E* es la unión de los factores *A* y *F*, esto es $\mathscr{R}(E) = A \cup F$. En general, la *clase de referencia de un predicado n-ario P* con dominio $A \times B \times ... \times N$ será $\mathscr{R}(P) = A \cup B \cup \cdots \cup N$.

Nuestra próxima suposición es que la clase de referencia de una proposición, o cualquier otro constructo en que los predicados aparecen, es la unión de las clases de referencia de dichos predicados. Por ejemplo, la clase de referencia de la proposición "Algunos organismos viven en agua dulce" es la unión de la colección de los organismos y la colección de los cuerpos de agua dulce. Nótese que la negación de una proposición dada tiene la misma clase de referencia. Lo mismo vale para las clases de referencia de "*P* y *Q*", "*P* o *Q*", "Si *P* entonces *Q*" y las

demás combinaciones de *P* y *Q* mediante conectivas lógicas: todas tienen los mismos referentes. En resumen, la función de referencia *R* es insensible a las conectivas lógicas.

Finalmente, estipulamos que la clase de referencia de un sistema de proposiciones, tal como una teoría, es igual a la unión de las clases de referencia de todos los predicados que aparecen en la teoría. Como al concebir una teoría se puede introducir y definir tantos predicados como se necesite, la tarea de encontrar la clase de referencia de la teoría parece a primera vista abierta y por lo tanto desesperanzada. Éste es, en efecto, el caso con las teorías desordenadas. En el caso de las teorías axiomatizadas, sin embargo, se puede identificar fácilmente el conjunto de los predicados básicos o definientes, que es un pequeño subconjunto de la colección de todos los predicados que aparecen en la teoría.

A la clase de referencia de una teoría o modelo se la llama a veces su 'ontología'. Advertimos acerca de este uso de 'ontología'. Por un lado, entendemos que el término 'ontología' denota una disciplina filosófica, la metafísica, o designa una teoría metafísica. Así, ni el mundo como un todo ni la colección de objetos en el mundo (es decir su composición) es una ontología. Más aún, si usásemos 'ontología' también 'como clase de referencia', deberíamos hablar de la ontología de una ontología. En cambio, conceptos con una extensión vacía, tales como "unicornio" sí hacen referencia, esto es, a objetos ficticios, aunque éstos no tienen estatus ontológico.

Permítasenos volver a subrayar la importancia de distinguir entre la extensión de un predicado y su clase de referencia, aunque apenas si los filósofos hacen esta distinción. (Después de todo, la mayoría de los filósofos no hace caso de la distinción propiedad-predicado.) Un biólogo que critica la noción de *élan vital* por no tener contraparte real, esto es, por tener una extensión vacía, se refiere al *élan vital* para considerarlo pura invención. Y un científico que hipotetiza la existencia de un objeto que aún no se ha encontrado asigna una clase de referencia no vacía al o a los predicados definientes, aun admitiendo que, hasta el momento, la extensión correspondiente ha demostrado ser vacía.

Las diferencias principales entre la extensión y la clase de referencia de un predicado son las siguientes. En primer lugar, el concepto de extensión presupone al de verdad (fáctica), mientras que la noción de clase de referencia no. Esto es, incluimos en la extensión de un predicado sólo los ítems para los que se cumple realmente. En segundo, mientras que la extensión de un predicado binario es un conjunto de pares ordenados (y en general, la de un predicado *n*-ario es un conjunto de *n*-uplas), la clase de referencia correspondiente es un conjunto de individuos. En tercero, mientras que la función de extensión es sensible a la negación, disyunción, conjunción y las conectivas lógicas restantes, la función de referencia no lo es. Por ejemplo la extensión de "no fotosintetizante" es el complemento de la de "fotosintetizante", mientras que la clase de referencia de ambos predicados es la misma, o sea todo el conjunto de los organismos (presentes, pasados y futuros.) De nuevo, la extensión de "*P* o *Q*" es la unión, esto es $\mathcal{E}(P \vee Q) = \mathcal{E}(P) \cup \mathcal{E}(Q)$, y la de "*P* y *Q*" es la intersección de las extensiones de *P* y *Q*, esto es $\mathcal{E}(P \,\&\, Q) = \mathcal{E}(P) \cap \mathcal{E}(Q)$. En con-

traste, la clase de referencia de ambos predicados compuestos es la misma: la unión de las clases de referencia parciales, esto es $\mathcal{R}(P \vee Q) = \mathcal{R}(P \,\&\, Q) = \mathcal{R}(P) \cup \mathcal{R}(Q)$. (Para detalles véase Bunge, 1974a, b.)

Aunque los biólogos no necesitan formalizar los conceptos de referencia y extensión, deberían conservar en la mente la distinción entre ellos, y esto por dos razones. Una es que a veces no resulta para nada obvio cuál es la clase de referencia, menos todavía la extensión, de una teoría o modelo dado. Por ejemplo, ¿la teoría de la selección se refiere a genes, genotipos, organismos, grupos o poblaciones, o quizá a todos ellos juntos? Así, el cuidadoso análisis semántico de teorías y modelos es una importante tarea de la biología teórica. Otra razón de la pertinencia de la distinción es que ayuda a detectar la falsedad de ciertas afirmaciones subjetivistas e instrumentalistas, tales como la que sostiene que "[la teoría de la selección] se refiere a la flora, la fauna *y* a agentes cognitivos que teorizan sobre ellas" (Rosenberg, 1994:15, cursivas del original). El hecho de que todas las teorías son teorías de algunos agentes cognitivos, así como el hecho de que las teorías pueden contener convenciones, supuestos simplificadores o aparatos estadísticos, no implica que traten, por lo tanto, *acerca de* agentes cognitivos; en otras palabras, que los agentes cognitivos se cuenten entre sus referentes.

2.3 SIGNIFICADO

La palabra 'significado' tiene muchos significados tanto en lenguaje ordinario como en biología. Se habla del significado de la información genética, del significado de la evolución o del significado de la vida. Evitaremos estos equívocos y adoptaremos sólo la noción semántica de significado. Esto es, sólo admitiremos constructos, así como signos simbolizando constructos, como portadores de significado. (Así, ni las moléculas ni los procesos tienen significado; y la mayor parte de las cosas y procesos no tienen tampoco propósitos o metas: véase capítulo 10.) Con esto, analizaremos el concepto de significado en "sentido" y "referencia", o qué se dice sobre qué.

Como el concepto de referencia ha sido elucidado previamente, procedemos a analizar la noción de sentido (connotación o comprensión.) En vez de referirse directamente a un individuo, una proposición puede "decir" algo en una manera indirecta. Por ejemplo, el enunciado "Darwin es un biólogo inglés" presupone la existencia de Inglaterra y de la biología. Más aún, el enunciado implica "Algunos ingleses son biólogos". Así una proposición "contiene" potencialmente todas sus consecuencias lógicas, de manera que éstas deben contarse como pertenecientes al sentido total de la proposición dada. Llamamos a esto las *consecuencias* de una proposición. Más aún, tiene completo sentido sólo en relación con las proposiciones que ella implica. Llamamos a los generadores o precursores lógicos de una proposición sus *premisas*. (Nótese que, si una proposición es una suposición inicial, esto es, un postulado o un axioma de una teoría científica, o si un predi-

cado se presenta en una teoría como concepto primitivo, esto es indefinido, no tiene otra premisa que ella misma.) En suma, el *sentido total* de una proposición es el conjunto de todas las proposiciones que trae aparejada o la traen aparejada a ella, es decir, la unión de sus premisas y sus consecuencias. Sin embargo, debemos ser cuidadosos aquí porque la misma fórmula puede tener sentidos diferentes (o ningún sentido) en diferentes contextos. Por ejemplo, una proposición sobre la tasa de crecimiento bacteriano no tiene sentido en sistemática; y el sentido del predicado "está vivo" depende de si se le define o no en la teoría dada. Si no se le define, su sentido es igual a sus consecuencias, mientras que en un contexto en el que se le defina, su sentido es igual a la unión del conjunto de sus predicados definientes (p. ej., "metabolizante") con el de los predicados que se siguen de él (p. ej., "mortal".) Así, siempre que exista el riesgo de ambigüedad, deberá hacerse explícita la indicación del contexto.

Habiendo definido la referencia y el sentido de un constructo arbitrario, podemos introducir el concepto semántico de significado. Definimos al *significado* de un constructo c como su sentido junto con su referencia: en símbolos obvios, $\mathcal{M}(c) =_{df} \langle S(c), \mathcal{R}(c)\rangle$. En otras palabras, dos constructos tienen el mismo significado si y sólo si son cointensivos y correferenciales. Estipulamos además que todo constructo tiene un significado, esto es, un sentido (aun si se conoce sólo parcialmente) y una clase de referencia no vacía (aunque posiblemente indefinida.) Su extensión, en cambio, puede ser vacía.

Estipulamos incluso que un signo o símbolo es *significante* con tal que designe a un constructo propiamente dicho o denote un hecho actual o posible. (Nótese que llamaremos la relación semántica entre un signo y un constructo 'designación', y a la relación semántica entre un signo y un ítem fáctico 'denotación'. Así, los signos viales denotan pero no designan, y los signos de puntuación no designan ni denotan.) Los signos o símbolos pueden tener significado sólo de manera colateral designando a un constructo significante. En otras palabras, un signo o símbolo adquiere significado indirectamente representando por poder a un constructo.

Como los nombres son símbolos, tienen significado (indirecto) sólo si representan constructos. Si un nombre designa sólo a un individuo, tal como un nombre propio que denota a una persona en particular, no tiene significado. Así, 'Jones' no tiene significado. Este punto resulta relevante para las tesis neonominalistas en taxonomía, de acuerdo con las cuales (a) los taxones biológicos serían individuos concretos (clados) antes que clases o tipos de organismos, y (b) los nombres de los taxones serían entonces nombres propios antes que nombres de clases (esto es, de conceptos). Sin embargo, al mismo tiempo, algunos autores neonominalistas (como de Queiroz, 1994) hablan del significado de los nombres de los taxones, la comprensión de los nombres de los taxones y la definición de ellos. Todo esto está errado: si los nombres de los taxones no designan constructos sino denotan individuos concretos, no tienen una comprensión ni un significado, y no pueden ser definidos. Sólo se puede asignar o adjuntar un símbolo a un objeto, pero esto no es definir al primero, y por supuesto, tampoco al segundo: las definiciones son *iden-*

tidades signo-signo o concepto-concepto, y no puede haber identidad entre un nombre y su nominátum. (Más sobre definición en sección 3.5.7.1, y más sobre neonominalismo en sección 7.3.)

De acuerdo con la teoría positivista del significado, una proposición es significante sólo en el caso de que sea testeable o, más precisamente, sea verificable (véase, p. ej., Carnap, 1936-1937). Esta postura se denomina usualmente 'teoría verificacionista del significado'. Ahora bien, aunque la testeabilidad es ciertamente una condición suficiente para la significación de las proposiciones, no es necesaria. Así, la proposición "La vida es un don divino" puede perfectamente tener sentido en un contexto teológico, aun cuando es intesteable. Más aún, constructos diferentes de las proposiciones tienen sentido aunque no sean testeables. Por ejemplo, la orden "¡Pásenme el azúcar!" y la máxima moral "No debemos ser sexistas" son perfectamente significativas aunque no sean proposiciones y por lo tanto no testeables. En consecuencia, damos vuelta a la teoría verificacionista del significado para leer: si una proposición es testeable, entonces tiene significado. En otras palabras, la posesión de significado es necesaria para la testeabilidad. No es suficiente, sin embargo, porque los tests requieren medios de prueba, tales como dispositivos de observación y métodos de algún tipo. (En otras palabras, resulta que "es verificable" es al menos un predicado binario y no unario, porque se presenta en proposiciones de la forma "*p* es verificable por el medio *m*".)

Finalmente, debemos distinguir entre significado fáctico y empírico. Obviamente, un constructo tiene *significado fáctico* si y sólo si se refiere a ítems fácticos. En cambio, un constructo tiene *significado empírico* únicamente en el caso de que se refiera al menos de manera parcial a experiencias humanas de alguna clase, tales como percibir, pensar o hacer. Así, mientras que el enunciado "Los primeros organismos se autoformaron a partir de precursores abióticos" es fácticamente significativo (e incluso, cierto) es empíricamente carente de significado porque no tenemos experiencia alguna del autoensamblaje de cosas vivientes en el pasado. Como la experiencia es propiamente una parte del mundo real (véase postulado 1.10), todo constructo empíricamente significativo es también fácticamente significativo, pero no a la inversa. Si es necesario, podemos llamar a un constructo que es fáctico pero no empírico, *estrictamente fáctico* u *objetivo*. Por ejemplo, "temperatura" es un concepto estrictamente fáctico, mientras que "caliente" es uno empírico. La distinción entre significado o contenido fáctico y empírico resultará provechosa cuando examinemos el problema de si las teorías científicas tienen contenido fáctico o empírico, o ambos (véase sección 3.5).

2.4 LÓGICA

Mientras que la semántica estudia el contenido de los constructos, la lógica estudia la *forma* de los conceptos, proposiciones, sistemas de proposiciones (teorías) y argumentos deductivos. (Una introducción accesible a la lógica elemental para biólogos es van der Steen, 1993; libros de texto más extensos y técnicos son, p. ej., Suppes,

1957 y Copi, 1968.) Desde un punto de vista lógico, las proposiciones pueden ser simples (atómicas) o compuestas (moleculares.) De una proposición que contenga una o más operadores lógicos, tales como "o" o "no", se dice que es compuesta o molecular. Un ejemplo es "p o no-p", o "$p \vee \neg p$" en forma abreviada, donde p es una proposición arbitraria. Otro ejemplo es "no-(p y no-p)", o "$\neg(p \;\&\; \neg p)$". A la primera de estas proposiciones se le denomina *principio del tercero excluido* (o *tertium non datur*), y a la segunda *principio de no-contradicción*. Ambas valen en la lógica clásica u ordinaria para todas las proposiciones, sin que importe su contenido o valor de verdad. De modo semejante, la regla básica de la deducción "A partir de p, y Si p entonces q, se infiere q" (o, en símbolos, "$p, p \Rightarrow q \;\therefore\; q$".) Este principio, llamado *modus ponens*, vale para cualesquiera proposiciones p y q más allá de lo que "digan" y sean o no (formal o fácticamente) verdaderas: la lógica no tiene compromisos con respecto al valor de verdad de las fórmulas no lógicas.

Las leyes del tercero excluido y de no contradicción son epítomes de *tautologías*, esto es, proposiciones que son (lógicamente) verdaderas por virtud de su forma, de manera que se cumplen sin importar el estado del mundo. Las tautologías son así radicalmente diferentes de las verdades matemáticas, químicas o biológicas, cada una de las cuales depende de la naturaleza de sus referentes y del contexto. Mientras que todas las tautologías son verdades formales, no todas las verdades formales son tautologías. Por ejemplo, "2 + 3 = 5" es verdadera en aritmética pero no pertenece a la lógica, que no involucra números.

Las tautologías nada dicen en particular sobre el mundo, aunque son necesarias para razonar correctamente sobre él. Es más, la lógica, canon del razonamiento válido, consiste en tautologías infinitas con un puñado de reglas de inferencia. Uno de los usos principales de la lógica es la de herramienta para identificar trivialidades lógicas, esto es, tautologías y sus negaciones, es decir, contradicciones o falacias lógicas. Una falacia lógica incluye un predicado autocontradictorio o contiene un par de proposiciones mutuamente contradictorias. Un ejemplo del primer caso es "herbívoro carnívoro" y "La agresión es innata y adquirida" ejemplifica al segundo. Al ser lógicamente falsos, no se necesita de operaciones empíricas para rechazarlos.

Como la máxima generalidad e independencia del tema son característicos de la lógica, ninguna otra ciencia tiene tal amplitud, o si se prefiere, tal falta de profundidad. Por eso es que la lógica se utiliza para analizar toda forma de discurso. Y por eso es que expresiones tales como 'lógica del proceso' o 'lógica de la situación', a veces usadas en el discurso científico, pueden referirse a cualquier tema menos a la lógica. La lógica no maneja procesos o situaciones más de lo que se ocupa de la fotosíntesis o la evolución. En suma, la lógica es la teoría básica del discurso racional. Es el estudio de la forma de los conceptos, proposiciones y argumentos deductivos. Nos enseña cómo distinguir al argumento correcto del incorrecto, no cómo explorar el mundo y mucho menos cómo cambiarlo; de manera similar a la matemática, que tampoco está comprometida con ningún tema fáctico. Por eso también la matemática puede moverse de un campo de investigación a otro.

Para concluir, por necesarias que sean, la lógica y la matemática resultan insuficientes para estudiar el mundo. Esto se debe a que la lógica trata acerca de forma y consecuencia: es una ciencia *a priori*, que no necesita operaciones empíricas tales como la observación, la medición o la experimentación. Y la matemática trata de constructos y, por lo tanto, tampoco tiene necesidad de procedimientos empíricos. Por eso es que llamamos a la lógica y a la matemática ciencias *formales*, en oposición a las ciencias *fácticas*, que estudian al mundo. (Más sobre la filosofía de la lógica y la matemática en Carnap, 1939; Bunge, 1985a, 1997.)

3 FUNDAMENTOS EPISTEMOLÓGICOS

La epistemología es la disciplina filosófica concerniente al conocimiento en general –ordinario o científico, puro u orientado a la acción. Es parcialmente descriptiva, parcialmente normativa. Algunas preguntas epistemológicas comunes son: ¿Qué podemos conocer? ¿Cómo conocemos? ¿Qué contribuye, si acaso, el sujeto cognoscente a su propio conocimiento? La metodología (o epistemología normativa) es la disciplina que estudia los principios de la investigación exitosa, ya sea en la vida ordinaria, en ciencia, tecnología o humanidades. Algunos problemas metodológicos son: ¿Existe una sola manera óptima de producir conocimiento, y en caso afirmativo, cuál es? ¿Qué es el método científico, si es que hay uno? ¿Es la confirmación (o falsación) empírica necesaria y suficiente para evaluar teorías?

Pueden tratarse muchas cuestiones epistemológicas, y en particular metodológicas, como si el conocimiento fuera independiente de los animales cognoscentes. Esto nos permite proceder a la manera tradicional, cuando analizamos nociones metodológicas tales como dato, hipótesis o testeabilidad. Sin embargo, como resultará obvio a partir del capítulo 1, el materialista afirma que no existe el conocimiento en sí mismo: el proceso de aprendizaje resulta ocurrir en y entre animales dotados con sistemas nerviosos de cierta complejidad. En otras palabras, sostenemos que la epistemología debe entretejerse con la biología, la psicología y la ciencia social. El sujeto cognoscente inmaterial y aislado de la epistemología tradicional debe ser reemplazado por el animal investigador, poseedor de un cerebro complejo, o un equipo de tales animales, inmersos en una sociedad. En resumidas cuentas, la epistemología debe ser biologizada y sociologizada. Sin embargo, dado que éste no es un tratado sociológico sino biofilosófico, tomaremos en cuenta sólo algunos aspectos biológicos, o más bien psicobiológicos de la epistemología. (Más en el capítulo 6. Para detalles véase Bunge, 1967a, b, 1980, 1981a, 1983a, b; Bunge y Ardila, 1987.)

3.1 COGNICIÓN Y CONOCIMIENTO

3.1.1 *Cognición*

Si tomamos en serio la base biológica de la cognición, nuestra suposición inicial debe ser el:

POSTULADO 3.1 Todo acto cognitivo es un proceso en algún sistema nervioso, ya sea humano o no.

Como la cognición es una actividad del sistema nervioso, debemos volcarnos a la neurociencia y la psicobiología para su explicación. Estas disciplinas sugieren que la adquisición de conocimiento, esto es, el aprendizaje, consiste en un cambio en la conectividad de algún sistema neuronal u otro. Ahora bien, el modo de las conexiones de las neuronas y los sistemas neuronales puede ser *constante*, esto es, que las conexiones no cambien una vez establecidas, o *variable*. A su vez, las conexiones variables pueden ser *regulares*, esto es, que un sistema neuronal x esté conectado ya con un sistema y, ya con un sistema z, de acuerdo con un patrón temporal definido. O pueden ser *aleatorias*, esto es, un sistema neuronal x está conectado de una manera aleatoria con diferentes sistemas sucesivamente. La *conectividad* de un sistema neuronal, entonces, es el conjunto de las conexiones entre sus subsistemas. Ahora estamos listos para proponer algunas definiciones y postulados básicos.

DEFINICIÓN 3.1. Un sistema neuronal es *plástico* (o *no comprometido*, o *modificable*, o *autoorganizable*) si y sólo si, su conectividad es variable a lo largo de la vida del animal. De otra manera, esto es, si su conectividad es rígida o constante desde el inicio de su formación o desde una cierta etapa de su desarrollo en adelante, el sistema está *comprometido* (o *incorporado*.)

Nótese que ésta es una definición neuronal, no conductual, de la plasticidad. Mientras que la plasticidad neuronal trae aparejada plasticidad conductual, la recíproca no es cierta. Una conducta puede parecer plástica, pero deberse a la activación de diferentes sistemas neurales que reaccionan a diferentes estímulos. Por lo tanto, las cuestiones de plasticidad no pueden ser investigadas solamente por la etología. Nuestra siguiente presuposición es:

POSTULADO 3.2. Todos los animales con un sistema nervioso tienen sistemas neuronales comprometidos y algunos también tienen sistemas neuronales plásticos.

Es una tarea de los investigadores de neurofisiología comparada poner a prueba esta hipótesis, lo que significa encontrar los miembros de qué especie animal poseen sistemas neuronales plásticos. De los animales que poseen sistemas neuronales plásticos se dirá que son capaces de aprender.

POSTULADO 3.3. El aprendizaje es una función específica de algunos sistemas neuronales plásticos.

DEFINICIÓN 3.2. De toda actividad (función) neural que involucra un sistema neuronal plástico que ha adquirido una conectividad regular se dice que es *aprendida*.

Nótese que, de acuerdo con las definiciones y postulados precedentes, la formación de conexiones comprometidas entre las neuronas durante el desarrollo no cuenta como aprendizaje, aun si se ha desarrollado por medio de la influen-

cia de estímulos ambientales. En otras palabras, nuestra peculiar concepción neurobiológica del aprendizaje remonta las obsoletas dicotomías innato-adquirido o genético-ambiental. (Más sobre esto en el capítulo 8.)

Resultará útil, por lo tanto, adoptar la propuesta de T.C. Schneirla de llamar *experiencia* a "la contribución al desarrollo de los efectos de la estimulación desde todas las fuentes disponibles (internas y externas)" (Lehrman 1970:30), en lugar de llamarla 'aprendizaje'. Así, por ejemplo, la memorización no cuenta como aprendizaje. Es más, nuestra concepción del aprendizaje también excluye la habituación como forma de aprendizaje. (La habituación ocurre no sólo en organismos carentes de sistemas neuronales plásticos, sino también en organismos que carecen hasta de sistema nervioso, tales como protistos.) Somos conscientes de que esta estrecha concepción neurofisiológica del aprendizaje no satisfará a muchos etólogos que prefieren una noción operacional del aprendizaje en términos de cambios observables de conducta. Sin embargo, no tenemos uso para las definiciones operacionales, según explicaremos en las secciones 3.2.3 y 3.5.6.

3.1.2 *Conocimiento*

Aunque no podemos desprender el resultado (conocimiento) del correspondiente proceso (cognición), podemos distinguirlos. Así, proponemos:

DEFINICIÓN 3.3. El *conocimiento* de un animal en un momento dado *es el conjunto de todos los ítems que ha aprendido y retenido* hasta ese momento.

En otras palabras, el conocimiento de un animal es la colección de cambios (procesos) en su supersistema neuronal plástico, incluyendo las disposiciones a evocar estos procesos. De acuerdo con las definiciones y postulados precedentes, los organismos carentes de sistema nervioso, tales como plantas, protistas y esponjas, no pueden conocer nada. Esto vale, *a fortiori*, para no-organismos, tales como computadoras. Lo mismo es válido para animales que poseen sistema nervioso pero no tienen sistemas neuronales plásticos. Por ejemplo, lo más probable es que ni los celenterados ni los nematodos puedan conocer nada. Debemos decir entonces, por ejemplo, que una medusa puede nadar pero que no sabe cómo nadar. Una consecuencia inmediata de la definición 3.3 es el:

COROLARIO 3.1. No existe el conocimiento heredado.

No hablamos de conocimiento *innato* (o congénito) aquí porque no de todos los animales puede decirse que nazcan. El término 'innato' puede ser aplicado con propiedad sólo a animales que son vivíparos o que eclosionan a partir de algún huevo o pupa, o lo que fuere. (Para los diferentes y confusos sentidos de 'innato' y 'heredado', véase Lehrman, 1970.) En principio, tales animales pueden aprender algo en el útero o el huevo siempre y cuando haya sistemas neuronales

plásticos involucrados. El problema de descubrir a partir de qué estadio de desarrollo son funcionales tales sistemas plásticos corresponde a la embriología comparada. (Para una discusión de estímulos prenatales del desarrollo conductual véase, p. ej., Gottlieb, 1970, 1991.) En otras palabras, sí puede haber un conocimiento innato o congénito, aunque no existe el conocimiento heredado en el sentido de conocimiento transmitido genéticamente (capítulo 8.) Sin embargo, aun si existe el conocimiento innato, sólo puede ser de tipo sensorimotor o perceptual, pero ciertamente no de tipo proposicional, ya que éste requiere de sistemas neuronales plásticos bastante complejos, que se organizan junto con la experiencia (véase sección 3.1.4).

3.1.3 *"Conocimiento en sí mismo"*

Una consecuencia metafísica importante de nuestra opinión acerca de la cognición es que no existe el conocimiento en sí mismo, es decir, separado de los procesos cognitivos que ocurren en algún sistema nervioso. Esto está, por supuesto, en discrepancia con la tradición idealista. Adoptamos la posición materialista de que las ideas platónicas, el conocimiento objetivo sin un sujeto cognoscente (Popper 1972), y la realidad matemática objetiva (Putnam, 1975) son invenciones del cerebro del metafísico. Tal como no existe movimiento separado de las cosas que se mueven, tampoco existen las ideas en sí mismas. Sin embargo, abstraer tales ideas de los animales que las piensan, así como de las circunstancias personales y sociales en las cuales ellos idean, resulta conveniente y no provoca daño alguno, más de un análisis lógico o epistemológico, mientras se le entienda como una *ficción*, y no como una tesis ontológica sobre la autonomía de las ideas.

Podría objetarse contra esta tesis materialista que, como obviamente podemos intercambiar información entre nosotros, debe existir un *contenido* de los procesos cognitivos que pueda ser no sólo transferido, transmitido o comunicado a otros cerebros sino externalizado en forma de artefactos tales como inscripciones y cintas. Afirmamos que en realidad no existe semejante contenido, y *a fortiori*, semejante transferencia. Permítasenos explicar por qué.

Durante la mayor parte de la prehistoria, el conocimiento existió sólo en los cerebros individuales. Con la invención del dibujo, la pintura, la escultura y particularmente la escritura, el conocimiento pudo ser codificado y "externalizado" mediante artefactos culturales que podían circular en la comunidad. Esto facilitaba el almacenar, compartir y enriquecer el "conocimiento". Sin embargo, también alimentó el mito del "contenido" independiente del conocimiento: independiente, esto es, del sujeto investigador. Resulta fácil ver cómo este mito puede generarse y mantenerse. Cuando alguien termina un libro, esta pieza de materia estructurada puede ser desprendida y vista por alguien más. Incluso su creador puede mirar hacia atrás y contemplarla como si existiera por sí misma mientras que, de hecho, su "contenido" depende de que sea percibida y comprendida por algún

cerebro. Esto crea la ilusión de que estamos en presencia de tres ítems separados: los procesos neurales (y motores) que resultan en la escritura, el artefacto cultural, y el conocimiento o el sentimiento codificado en dicho conocimiento.

El paso siguiente es coleccionar todos estos fragmentos de conocimiento separado de los cerebros y dotar a dicha colección de una vida propia. El paso final es dar un nombre a tal colección de ítems que supuestamente penden por encima de los cerebros y de la sociedad, por ejemplo, el "reino de las ideas" (Platón), "el espíritu objetivo" (Hegel) o "Mundo 3" (Popper.) De esta manera, se crea la ilusión de que tales "mundos" de conocimiento y sentimiento persisten y subsisten una vez que han sido creados por individuos concretos en circunstancias sociales específicas, y más aún, que interactúan con los seres vivos. Sin embargo, estas colecciones en realidad no constituyen mundos (sistemas concretos), ya que no hay manera de que objetos totalmente heterogéneos, tales como enunciados y discos, puedan combinarse para formar un sistema que exhiba propiedades emergentes. Peor aún, no puede existir evidencia empírica alguna en favor de la hipótesis de que tales "mundos" ideales llevan una existencia separada de la de los cerebros vivientes. En consecuencia, la hipótesis de Popper (1972) de la existencia del "Mundo 3" no cumple con su propia metodología de conjetura y refutación (para más argumentos véase Bunge 1980, 1981a).

Habiendo descartado el "contenido de información" de los procesos cognitivos y artefactos culturales, ¿cómo damos cuenta entonces de la comunicación? Para entender la comunicación debemos darnos cuenta de que intercambiar "información" no es como comerciar bienes, sino interactuar con otro animal (directamente o mediante artefactos), de tal manera que cada parte evoca ciertos procesos de aprendizaje en el cerebro de la otra. En otras palabras, la comunicación exitosa consiste en la *construcción* o *(re)creación* de procesos similares en los cerebros de los animales participantes en la interacción. Si estos procesos cerebrales (re)construidos son demasiado disímiles, nos entendemos mal, y si no hay una construcción equivalente en el cerebro del otro, no nos entendemos en absoluto. Si la comunicación consistiera realmente en la transmisión de información inmaterial, no sería posible semejante malentendido o falta de comprensión, excepto quizá por perturbaciones en el canal de comunicación (cualquiera que éste sea). En particular, enseñar y aprender, es decir, la educación, no serían las actividades difíciles y arduas que son en realidad.

En suma, no existe contenido inmaterial de los procesos cognitivos y objetos culturales. Así, una escultura que nadie mira es sólo un trozo de materia, y también lo es un artículo científico de biología que nadie lee. Sólo cuando tales objetos materiales evocan procesos de re-estructuración, re-creación, re-sentimiento, re-pensamiento o re-presentación al ser percibidos por un animal, existen en, y sólo en ese momento en que esos procesos ocurren y durante el tiempo en que puedan ser evocados, esto es, recordados.

A la luz de lo que antecede, resultará obvio que la noción de *meme*, introducida por Dawkins (1976) en analogía con el concepto de gen, no es más que una metáfora. De hecho, mientras que las piezas de ADN (es decir, genes) son realmen-

te transmitidas en la producción de descendencia, no hay piezas de conocimiento (memes o ideas) que literalmente se transmitan a otros cerebros. Así, el intento de Dennett (1995) de volver filosóficamente respetable la noción de meme resulta fallido, ya que no es cierto que "los memes reestructuren un cerebro humano" (p. 365); si acaso, la (re)estructuración del cerebro (quizás inducida por señales sensoriales) "produce un meme", y no en sentido inverso.

Finalmente si, a diferencia de los organismos, las ideas (o memes) no están vivas ni existen por sí mismas, debería quedar claro que tampoco se replican ni evolucionan por sí mismas. Necesitamos subrayar esto porque varios filósofos y científicos, particularmente Spencer, von Helmholtz, Peirce, Mach, Toulmin, Popper y más recientemente Hull (1988), han trazado un paralelo entre la historia de las ideas y la evolución biológica. Sin embargo, esta variedad de "epistemología evolutiva" consiste sólo en metáforas y analogías, porque descansa sobre la reificación de los procesos cognitivos. No está de más repetir que es legítimo y conveniente estudiar la "historia" y el "cambio" de las ideas *como si* fueran entidades dotadas de existencia autónoma. Sin embargo lo que sí resulta objetable son las tesis metafísicas subyacentes de que hay cosas tales como "conocimiento en sí mismo" o "conocimiento objetivo", o que las ideas son "entidades históricas". En particular el panorama seleccionista del conocimiento científico según Hull (1988) es notablemente antibiológico, ya que ignora completamente el aspecto constructivo del conocimiento, que es obligatorio si la neurobiología ha de tomarse seriamente. Si lo hacemos resulta obvio que no pueden existir cosas tales como la transmisión de ideas ni replicadores conceptuales (memes), descendencia conceptual, linajes conceptuales o interacción conceptual, ni siquiera "mediante vehículos físicos" (p. 436.) Todas éstas constituyen sólo metáforas y elipsis, que sin embargo parecen atractivas porque nos ayudan a entender de una manera intuitiva. Pero esta comprensión es ilusoria porque no está basada en una explicación científica genuina. (Véase también capítulo 6; más sobre el uso de analogías inadecuadas en este tipo de epistemología evolutiva en Ruse, 1986 y Bradie, 1991. Para una epistemología evolutiva genuina que trata de la evolución de las habilidades cognitivas véanse Vollmer, 1975, 1983, 1985, 1987a, 1995, y Ruse, 1986. Véanse también Riedl, 1980, cuya exposición es sin embargo un poco vaga, así como Riedl y Wuketits, eds., 1987; Bradie, 1994a.)

3.1.4 *Tipos de conocimiento*

Aunque hemos rechazado la tesis ontológica del conocimiento en sí mismo, para muchos propósitos epistemológicos es suficiente estudiar sólo los "productos" de los procesos cognitivos sin considerar el sujeto que aprende y su entorno social. (Nótese que, dado que reconocemos explícitamente que éste constituye un ejercicio de simplificación para los fines del análisis, no violamos nuestra propia ontología.) Para empezar, una clasificación de los ítems del conocimiento puede ser un punto de partida útil.

En primer lugar podemos distinguir

1. Conocimiento *sensorimotor* –como saber bailar o escribir a máquina (pero p. ej., la capacidad de respirar u orinar no cuenta como conocimiento).

2. Conocimiento *perceptual* –por ejemplo, conocer el canto del ruiseñor o ser capaz de distinguir entre una termita y una hormiga (obsérvese que, como todo conocimiento, estas capacidades deben ser aprendidas para considerarlas conocimiento según nuestra estricta concepción).

3. Conocimiento *conceptual* o *proposicional* –por ejemplo, saber que la Tierra da vueltas alrededor del Sol (o al revés), o conocer la función de la respiración en los organismos. (Por razones obvias, en adelante únicamente nos importará el conocimiento proposicional.)

Una segunda distinción útil se da entre conocimiento de primera y de segunda mano. El *conocimiento de primera mano* se adquiere mediante la experiencia personal, como en el caso de la investigación. El *conocimiento de segunda mano* constituye un conocimiento sobre el conocimiento de primera mano: se "comunica" oralmente o mediante libros, filmes, discos, etc. Nótese que esta división no involucra ninguna valoración. El conocimiento de primera mano puede ser bastante anodino (p. ej., saber que nuestro escritorio es marrón), y el conocimiento de segunda mano puede ser revelador (como haber leído este libro).

Una división relacionada se da entre conocimiento privado y público (o intersubjetivo.) Podemos decir que un animal b tiene conocimiento *privado* de X si no hay nadie excepto b que tenga conocimiento de X. De otra forma, estó es, si un ítem de conocimiento es compartido por al menos algunos miembros de una sociedad, es *público* o *intersubjetivo* en esa sociedad. El conocimiento privado puede dividirse aún en conocimiento de los propios estados (o mejor dicho, procesos), en particular procesos cerebrales, y conocimiento secreto, es decir, conocimiento que se mantiene clasificado.

Otra distinción aparece entre el conocimiento tácito (o inconsciente, o saber cómo) y el explícito (o consciente, o saber qué.) Más precisamente, podemos decir: si el sujeto s conoce p, entonces (a) s tiene conocimiento *explícito* de p si s también sabe que s sabe p o sabe cómo expresar p en algún lenguaje; (b) de otra forma s tiene conocimiento *tácito* de p.

Finalmente, debemos alertar en contra de confundir el conocimiento público o intersubjetivo con el conocimiento objetivo. Definimos la *objetividad* como sigue:

DEFINICIÓN 3.4. Designe p una pieza de conocimiento explícito. Entonces p es objetivo si y sólo si,

(i) p es público (intersubjetivo) en alguna sociedad, y

(ii) p es testeable conceptual o empíricamente.

Así, las reglas mágicas y los dogmas religiosos pueden ser intersubjetivos en una sociedad dada pero no son objetivos en el sentido metodológico mencionado. Nótese que la verdad no está involucrada en la objetividad. Un enunciado puede ser objetivo pero falso, o verdadero y no objetivo. Por ejemplo, "Nuestro

planeta es hueco" es objetivo pero falso, y "No estoy seguro de que alguna vez termine de leer este fastidioso libro" puede ser verdadero pero no es objetivo.

3.1.5 *Conocimiento y creencia*

Muchos epistemólogos han definido al conocimiento en términos de creencia o, más precisamente, como un tipo especial de creencia, a saber: *creencia justificada, garantizada o verdadera*. (Más explícitamente: *s* sabe que *p* si *s* cree *p*, y *s* está completamente justificado en creer *p*, por ejemplo, porque *p* es verdadera.) Sin embargo, como el conocimiento y la creencia deben considerarse procesos cerebrales, definiremos la creencia justificada en términos de conocimiento en vez de definir el conocimiento como creencia justificada. Dada una "pieza" de conocimiento (esto es, un pensamiento), sostenemos que la creencia constituye el grado o fuerza del asentimiento que asignamos a ese pensamiento, esto es, otro proceso cerebral relacionado con el pensamiento del que se habla. Según esto, podemos graduar la creencia entre -1 (máximo descreimiento o rechazo) y +1 (máxima creencia o aceptación). El valor 0 se asigna a la indiferencia o la suspensión de la creencia. En otras palabras, debemos conocer algo -falso o verdadero- antes de poder creerlo. (Incidentalmente, podemos conocer tantas verdades como falsedades, y esto por la trivial razón de que siempre es posible conocer la negación de cualquier proposición.) Por lo tanto, sugerimos:

DEFINICIÓN 3.5. Denote s un sujeto y p una pieza de conocimiento. Entonces

(i) *s* cree $p =_{df}$ *s* conoce *p* y *s* da su asentimiento a *p*;

(ii) *s* está justificado en creer $p =_{df}$ *s* conoce *p* y *s* sabe que *p* está razonablemente bien confirmado;

(iii) *s* está justificado en descreer de $p =_{df}$ *s* conoce *p* y *s* sabe que *p* ha sido refutado.

Para concluir, el conocimiento no involucra la noción de verdad ni la de objetividad: puede ser subjetivo u objetivo y puede ir de la verdad completa a la falsedad total, así como de la inutilidad a la utilidad prácticas. Por lo tanto, la oposición vulgar entre conocimiento y error no forma parte de nuestra epistemología, ya que mucho de nuestro conocimiento sobre los hechos es, en el mejor de los casos, sólo parcialmente verdadero. El error es la contrapartida o complemento de la verdad, no del conocimiento. (Más sobre esto en Bunge, 1983a. Para la noción de verdad véase sección 3.8).

Veamos ahora algunos modos de adquisición de conocimiento.

3.2 PERCEPCIÓN Y OBSERVACIÓN

Hablar de percepción y observación como diferentes de la introspección tiene

sentido sólo si asumimos que el mundo exterior al sujeto que investiga también puede ser conocido por los investigadores. En otras palabras, debemos suplementar nuestro postulado de realismo ontológico (postulado 1.1) con un axioma de *realismo epistemológico*. Dicho axioma es:

POSTULADO 3.4. Podemos llegar a conocer el mundo, aunque sólo de manera parcial, imperfecta (o aproximada) y gradual.

Aunque este postulado puede parecerle bastante trivial al científico, lo afirmamos explícitamente porque claramente pertenece a las presuposiciones filosóficas de la investigación científica, y porque está en desacuerdo tanto con el escepticismo radical (no hay conocimiento) como con el intuicionismo (conocimiento instantáneo.) Ahora podemos pasar al asunto de cómo puede obtenerse tal conocimiento del mundo.

3.2.1 *Percepción*

Para comenzar, distinguimos la percepción de la sensación. Por ejemplo, sostenemos que uno puede sentirse frío, hambriento o dolorido, pero no percibe frío, hambre o dolor. En cambio, un animal tiene la capacidad de sensar la luz o el sonido sin percibirlos como luz o sonido, respectivamente. Esto es, sentir o sensar significan detectar en forma automática: lo que hacen los sensores. Por el contrario, percibir equivale a descifrar o reconocer un mensaje sensorial. Por ejemplo, es ver una sombra oscura en el cielo *como* un halcón, u oír ciertos sonidos *como* el llamado de un cuclillo. Mientras que la sensación sólo requiere detectores o sensores, la percepción requiere, de manera adicional, sistemas neuronales capaces de "interpretar" lo que se siente o se sensa. Así, la percepción consiste siempre en percibir alguna cosa (o mejor dicho, eventos que ocurren en una cosa) de una determinada manera. El esquema es siempre: *el animal x en el estado y percibe al objeto z como w*. (Véase también Hooker, 1978. Considérese que lo que denominamos 'percepción' a veces se denomina 'cognición': véase, p. ej., Dretske, 1978. Sin embargo, en nuestra opinión la cognición también comprende la concepción y la evaluación.)

Como los perceptos son sensaciones "interpretadas", los estados del cerebro del animal percipiente, en particular memorias y expectativas, determinan qué se percibe como qué. Así, percibir es construir y no meramente copiar. Los sentidos no nos dan un *cuadro* del mundo sino sólo *señales* de él, que deben interpretarse antes de que puedan convertirse en ítems cognitivos. Lo que se sensa es algún evento en un órgano sensorial. Esta sensación distorsiona la actividad en curso del sistema perceptual. En otras palabras, el ambiente no produce la actividad del SNC sino causa (desencadena) cambios en su actividad: intensifica o amortigua, esto es, *modula*, la actividad incesante del SNC. En consecuencia, no tenemos conocimiento directo del mundo externo. Incluso la presuposición de que ítems ambientales desencade-

nan eventos en algún sistema sensorial es una construcción cerebral, esto es, una percepción o una hipótesis, que algunas veces es correcta y otras incorrecta.

Aunque ésta es una tesis constructivista, no abrazamos el constructivismo radical sino el realismo: sostenemos que no construimos el mundo sino sólo lo mapeamos o representamos (en alguna medida) con ayuda de constructos más o menos adecuados. Más precisamente, sugerimos:

DEFINICIÓN 3.6. Un animal *b* ha adquirido algún *conocimiento perceptual de algunos ítems en su ambiente E* (parcialmente cierto), si y sólo si *b* posee un sistema neuronal plástico *n* tal que algunos eventos en *E* son mapeados como eventos en *n*.

A fin de que la noción de mapeo no se entienda erróneamente como una semejanza pictórica, destacamos que cualquier conocimiento sobre el mundo, ya sea perceptual o conceptual, es simbólico en vez de pictórico (von Helmholtz, 1873.) En particular, puede no existir isomorfismo alguno entre un proceso cerebral (y, *a fortiori*, un constructo) y un hecho fuera del cerebro cognoscente. Expresamos esto en:

POSTULADO 3.5. Cualquier conocimiento sobre ítems fácticos no es directo o pictórico, sino *simbólico*.

La moraleja para el epistemólogo realista es clara: aunque la percepción desencadenada por un objeto interno puede darnos algún conocimiento sobre la realidad, no percibimos las cosas reales como realmente son sino como se nos aparecen. Así, el realismo ingenuo está equivocado. Lo mismo vale para las teorías causales de la percepción, tal como las adopta la mayoría de los filósofos empiristas. Sin embargo, esto no es abrazar el fenomenalismo. Desprender al objeto (cosa en sí misma) del sujeto (sujeto percipiente) requiere un tipo diferente de proceso cerebral: hipotetizar y teorizar acerca de cosas en sí mismas. El realista, entonces, asume que aunque las apariencias y fenómenos *son* reales, sólo representan *parte* de la realidad (véanse sección 1.8.2 y postulado 1.10). No así el fenomenista.

3.2.2 *Fenomenalismo* versus *realismo*

El *fenomenalismo* es la escuela filosófica que sostiene que sólo podemos conocer fenómenos, esto es, apariencias ante algún observador. Distinguimos dos tipos de fenomenalismo: ontológico y epistemológico. De acuerdo con el *fenomenalismo ontológico* sólo existen fenómenos: toda cosa sería un haz de apariencias y todo cambio sería una experiencia humana. Esta posición queda prolijamente resumida en la famosa fórmula de Berkeley *esse est percipi* (ser es ser percibido.) El *fenomenalismo epistemológico*, por contraste, es la opinión de que sólo los fenómenos pueden conocerse. Mientras que Kant (1787) pensó que deben existir cosas en sí

mismas (*noumena*) detrás de los fenómenos y aparte de ellos, ya que, después de todo, debe haber algo que parece que otros consideran indecidible a la existencia de las cosas en sí mismas. No hace falta decirlo, el primer tipo de fenomenalismo implica al segundo.

En cualquier versión, el fenomenalismo es incompatible con la ciencia moderna. (Para una crítica temprana del fenomenalismo en biofilosofía, véase Woodger, 1929.) En realidad, los fenómenos o apariencias perceptuales sólo son el punto de partida de la investigación empírica. Incluso en la vida cotidiana, la mayoría de nosotros busca la verdad detrás de las apariencias, porque sabemos que las apariencias pueden ser engañosas. *A fortiori* los científicos buscan la realidad detrás de las apariencias. Esta búsqueda los lleva más allá de la percepción, hacia la concepción y, particularmente, a la teoría. A veces tenemos éxito en explicar las apariencias en términos de hipótesis sobre cosas y procesos imperceptibles (o transfenoménicas.) Ejemplos bien conocidos son la explicación de la apariencia externa (fenotipo) de un organismo en términos de genes (genotipo), y la explicación neurofisiológica de la conducta manifiesta, las imágenes accidentales y las ilusiones perceptuales.

Aunque el fenomenalismo es incompatible con la ciencia genuina, no ha muerto ni mucho menos. En el presente, por ejemplo, el fenomenalismo epistemológico sobrevive en una versión denominada 'empirismo constructivo' (van Fraassen, 1980.) No debería causar sorpresa que esta posición sea declaradamente antirrealista. Después de todo, el fenomenalismo es la heroica última resistencia del antropomorfismo (véase también Giere 1985.) Como el objetivo de esta escuela es producir modelos "empíricamente adecuados" del mundo fenoménico, no la verdad, sostenemos que el científico apenas si puede tener algún uso para ella. Incidentalmente, la noción de adecuación empírica como sustituto de la verdad es un viejo ideal de los fenomenalistas. Ya el cardenal Bellarmino argumentó contra Galileo, un realista franco, que el modelo heliocéntrico no podía ser considerado verdadero sino, en el mejor de los casos, apenas tan adecuado empíricamente como el de Ptolomeo (Duhem, 1908.) (Lo mismo valía, dicho sea de paso, para el modelo de Tycho. Para más críticas al empirismo constructivo, véase Churchland y Hooker, eds., 1985.)

Afirmamos que, más allá de sus declaraciones filosóficas, los científicos se comportan como *realistas*. Esto es, presumen que detrás de los fenómenos hay hechos objetivos (independientes del sujeto), los cuales son (semi)subjetivos, y que algunos de tales hechos pueden conocerse –aunque por supuesto conceptual antes que perceptualmente. El realismo, entonces, constituye una doctrina tanto ontológica como epistemológica. Sin embargo, existen dos clases de realismo ontológico: el idealista y el científico. El *realismo idealista* (o *platonismo*) identifica la realidad con la totalidad de las ideas y sus sombras materiales. Es más, asume que las ideas existen autónomamente, en su propio reino, mientras que las cosas concretas son sus sombras o copias. Así, una cosa blanca sería sólo una pobre copia de la idea perfecta y eterna de la blancura. Los naturalistas románticos, en particular Goethe, adoptaron esta opinión cuando postulaban que todos los organis-

mos existentes son copias más o menos defectuosas de un organismo primordial construido de acuerdo con un *Urplan* perfecto.

El *realismo científico* se opone al realismo idealista: equipara la realidad con la colección de todas las cosas concretas, que a su vez pueden definirse como objetos capaces de cambiar en uno u otro aspecto. (Esto es lo que *nosotros entendemos* como la médula del realismo científico. De hecho, 'realismo científico' designa a una variedad de doctrinas: véanse p. ej., Sellars, 1963; Smart, 1963; Popper, 1972; Putnam, 1983, 1994; Bhaskar, 1978; Boyd, 1984; Leplin, ed., 1984; Churchland y Hooker, eds., 1985; Harré, 1986; Hooker, 1987; Rescher, 1987; Kanitscheider, 1989; Suppe, 1989; Vollmer, 1990.) De acuerdo con nuestra versión del realismo científico, las ideas, lejos de llevar una existencia autónoma, son procesos que ocurren en los cerebros de algunos animales. Esta hipótesis posibilita el estudio de la ideación de una manera científica. Sin embargo, el realismo científico no sólo promueve la investigación de hechos objetivos, sino también el estudio de la manera en que los animales los "perciben" y, especialmente, la manera en que modelan su entorno. Esto es particularmente necesario en etología, psicología y ciencias sociales, porque las percepciones e ideas, acertadas o erróneas, pueden guiar la conducta.

3.2.3 *Observación*

Sostenemos que no todo acto de percepción es una observación. Así, distinguimos la percepción espontánea de la percepción *dirigida* y *selectiva* u *observación*. En el primer caso miramos las cosas; en el segundo las *buscamos*. Cuando miramos a la multitud que pasa somos espectadores; cuando buscamos a un amigo entre la multitud, somos observadores.

Al ser selectiva, la observación depende de nuestras expectativas, de nuestro fondo de conocimiento y de nuestro sistema de valores (o intereses.) Esto es, personas con diferentes trasfondos, actitudes cognitivas y sistemas de valores ven el (único) mundo que hay de manera más o menos diferente. En resumen, no existe la percepción inmaculada que estipulan los empiristas. Como no hay observación pura, se ha vuelto popular decir que la observación está *cargada de teoría*. Entendemos que ésta es una expresión desafortunada porque la mayoría de los observadores no conoce ninguna teoría propiamente dicha. Por lo tanto, la expresión *guiada por hipótesis* parece preferible.

La observación puede ser *directa*, es decir, sin ayuda de instrumentos, o indirecta o conducida con la ayuda de algún instrumento, como un estetoscopio o un microscopio electrónico. Sin embargo, la mayoría de los hechos no son directamente observables: piénsese en electrones o cuásares, en genes o poblaciones, en colisiones atómicas o eventos históricos, en organismos extintos o procesos neuronales. Llamamos a tales cosas o hechos inobservables *transfenoménicos*. El término 'trascendental', aunque tradicionalmente tenía el mismo significado, hoy está cargado de connotaciones teológicas y por eso es mejor evitarlo. Tampoco habla-

mos de "entidades teóricas", como a menudo se hace, porque los hechos ni dependen de teorías ni son "teóricos" en cualquier otro sentido (recuérdese sección 1.8.1). Sólo puede ser teórico nuestro conocimiento de tales hechos. En otras palabras, el que *hipoteticemos* la existencia de una cierta entidad inobservada o inobservable puede ser motivado o guiado por consideraciones teóricas, es decir, que puede ocurrir en un contexto teórico, pero no vuelve teórico al hecho mismo al cual la hipótesis (verdadera o falsamente) se refiere.

Los científicos han ideado literalmente miles de medios para extender el alcance de nuestros sentidos, porque sospechan que la realidad abarca más que las apariencias. Vale la pena mencionar que sólo algunos de dichos medios, como la balanza o los binoculares, extienden el alcance de los sentidos humanos. Muchos otros, como el contador Geiger y el microscopio electrónico, no son ojos, oídos o piel extrasensitivos, sino herramientas sin precursores biológicos. Sin embargo, todos ellos suministran hechos directamente observables, tales como castañeteos, movimiento de agujas sobre cuadrantes o cuadros sobre un monitor de computadora. Podemos por lo tanto decir que todo el conocimiento sobre cuestiones fácticas consiste en, o involucra, alguna observación directa. (Éste es el ingrediente empírico del realismo científico.)

Las ciencias históricas, como la cosmogonía, la geología, la paleontología (partes de la) biología evolutiva y la arqueología, no están exentas de esta condición. Debido a que los científicos históricos no pueden observar eventos en el pasado, la mayoría de sus observaciones está limitada a restos tales como fósiles o herramientas prehistóricas. Por eso deben conjeturar el posible uso de esas herramientas o la posible morfología de los organismos extinguidos. Sin embargo, al hacer esto confrontarán sus hipótesis con otros hallazgos, por ejemplo, al comparar los fósiles con organismos recientes. Esto significa, más allá de la cantidad de especulación histórica en la que puedan embarcarse los científicos, que en algún punto está involucrada alguna observación, aunque no sea más que para comparar la cosa o el proceso por explicar con algún ítem ya conocido. Un campo de investigación que no implica observación en absoluto es estrictamente formal (es decir, lógico, matemático o semántico) o puramente especulativo y por lo tanto no científico.

Mientras que la observación directa está cargada de hipótesis, la observación indirecta (como actividad científica) es *hipotesis*, o incluso *teoría-dependiente*. (De nuevo: nuestras observaciones de hechos imperceptibles, no los hechos mismos, son teoría-dependientes.) Esto ocurre porque la observación indirecta involucra no sólo algunos medios técnicos, sino también un conjunto de hipótesis o incluso alguna teoría empleada en su diseño mismo y en su operación. Por ejemplo, la detección de ondas de radio emplea la teoría electromagnética. Ciertamente, no necesito conocer ninguna teoría al escuchar la radio o al usar el microscopio (Hacking, 1985.) No obstante, sin trasfondo teórico los datos en crudo provistos por medios de observación indirecta serían *científicamente injustificados*, es decir, serían datos personales (subjetivos), pero no científicos. En muchos casos, los datos en crudo serían ininteligibles y por lo tanto inútiles, ya que no tienen ninguna re-

lación obvia con los hechos observados. Por ejemplo, un lego no sabría qué hacer con un patrón de difracción de rayos X o con las manchas sobre un electroforetograma.

Toda observación indirecta requiere una "interpretación" de los datos. Esta "interpretación" consiste en una hipótesis sobre la naturaleza de los eventos de interés y su interacción con el detector. Solía denominarse a tales eslabones inobservables-observables, *definiciones operacionales* (Bridgman 1927.) En realidad no son definiciones, esto es, convenciones, sino hipótesis. Si son científicas, estas hipótesis deben ser testeables, de manera que es mejor denominarlas *hipótesis indicadoras*. Un *indicador* es una propiedad observable (o la variable correspondiente, que señala una propiedad inobservable (o la variable correspondiente). Por ejemplo, la altura de una columna termométrica es un indicador de temperatura; los signos vitales de una persona, tales como el latido cardiaco y la presión sanguínea, son indicadores de su estado fisiológico; y el habla es un indicador de la actividad (normal o patológica) de las áreas de Wernicke y de Broca.

En el caso ideal, la relación inobservable-indicador es una función conocida $U = f(I)$. En otras palabras, una hipótesis indicadora no ambigua mapea un hecho observable en uno transfenoménico, de manera tal que, observando el primero, podemos inferir directamente el segundo. Por ejemplo, en primera aproximación la longitud L y la temperatura t de un cuerpo termoelástico están relacionadas por $L = L_0 (1 + \alpha t)$, donde L_0 es la longitud a 0 °C y α es característica del material. Midiendo L, L_0 y α, la fórmula da $t = (L - L_0)/\alpha L_0$. No debería sorprendernos que los indicadores no ambiguos resulten raros en biología, en comparación con la física. Por ejemplo, los movimientos oculares rápidos durante el sueño parecen ser un indicador confiable de actividad onírica.

Para bien o para mal, la mayoría de los indicadores son ambiguos y por lo tanto falibles, esto es, consisten en relaciones muchos-a-uno antes que en funciones. Por ejemplo, un fenotipo en particular no siempre permite inferir un cierto genotipo, o a la inversa; y la baja biodiversidad puede indicar un clima frío en el presente o en el pasado (como durante una edad glacial), o los estragos de la industria. Afortunadamente, la ambigüedad en una hipótesis indicadora aislada puede ser removida usando dos o más indicadores simultáneamente, de manera que los inobservables están mejor expuestos con la ayuda de baterías enteras de hipótesis indicadoras mutuamente compatibles. (Más sobre indicadores, en las secciones 3.5.5 y 3.5.7.1.)

3.2.4 *Dato*

El resultado de una percepción, y en particular de una observación, es un *dato*. Un dato es un ítem de conocimiento particular (en oposición a uno general.) Más precisamente, un dato es un enunciado singular de la forma "La cosa *x* está en el estado *y* (o experimenta el cambio *z*)" o "Hay cosas del tipo *K*". En la vida ordinaria, muchos datos, tal como lo sugiere la etimología de la palabra, son *dados*,

como los datos de la memoria, la percepción y el cotilleo, que no son necesariamente buscados y a los que usualmente, aunque a menudo equivocadamente, se da por ciertos. Es más, se les considera "hechos", de manera que aun en la literatura científica y filosófica, las palabras 'dato' y 'hecho' son utilizadas a menudo de manera intercambiable. Sin embargo, este uso es incorrecto, ya que los datos son proposiciones, no hechos (véase también Hooker, 1978.) Los datos *se refieren a hechos* y así pueden ser más o menos verdaderos y, si menos que verdaderos, corregibles. Si un dato no se refiere a un hecho, es falso. Ejemplo: informes sobre avistamientos de algunos OVNIS y de Piegrande. En otras palabras, no debemos confundir las proposiciones fácticas con los hechos a los cuales éstas se refieren. Finalmente, debemos distinguir los datos de la evidencia. Una *evidencia* es un dato relativo a alguna hipótesis o teoría: no existe la evidencia en sí misma.

En ciencia fáctica todos los datos son *empíricos*: resultados de observaciones, mediciones o experimentos. En consecuencia, son *producidos* en vez de "dados" o "recolectados". Sin embargo el hecho de que tanto la observación como los datos son guiados por hipótesis no debería exagerarse hasta el punto del relativismo epistemológico, porque, al menos en ciencia, tanto observaciones incompatibles como hipótesis subyacentes rivales pueden ser comprobadas contra otros datos, teorías o ambos. (Para una crítica del relativismo epistemológico, véase Siegel, 1987, y Suppe, 1989.) Así, puede demostrarse que no tienen el mismo valor (p. ej., valor de verdad, generalidad, o profundidad.) Lo mismo vale para los datos porque muchos de ellos pueden ser replicados y todos ellos son, al menos en principio, comprobables por diferentes medios o métodos. En consecuencia, incluso si todos los datos son guiados por hipótesis, la mayoría son invariantes con respecto a cambios en la hipótesis guía.

Los datos empíricos pueden ser objetivos o subjetivos. Los primeros informan sobre hechos en el mundo externo al observador, mientras que los datos subjetivos informan sobre los sentimientos, percepciones, deseos e intenciones del sujeto. Por ejemplo, "*X* es un mamífero" es un dato objetivo, mientras que "Me siento feliz" es un dato subjetivo. Los datos subjetivos son inadmisibles en las ciencias naturales, aunque admisibles, pero no indispensables, en psicología y ciencias sociales.

También podemos distinguir los datos primarios o directos de los secundarios. Estos últimos derivan de los primeros mediante técnicas estadísticas o de otro tipo. Tal derivación es necesaria cuando los datos llegan masivamente. En este caso, deben ser sujetos a la elaboración estadística, a fin de hallar porcentajes, promedios, modas, desviaciones respecto a los promedios, coeficientes de correlación y otros parámetros estadísticos. Al menos en las ciencias avanzadas, la teoría determina cuáles son los parámetros estadísticos relevantes: son los que la teoría puede ayudar a calcular.

En los campos de investigación menos desarrollados, los científicos emplean la mayor parte de su tiempo y esfuerzo en lo que se denomina a menudo (aunque erróneamente) 'encontrar hechos', esto es, producir datos. Aunque sin duda indispensable, esta tarea sólo puede ser un medio antes que un fin, ya que los datos no "hablan" por sí mismos. En realidad, los datos no valen nada por sí mis-

mos: sólo son útiles como entradas a algún cerebro que piensa en una hipótesis o una teoría y que así es capaz de suministrar comprensión. Es más, sólo pueden recolectarse datos interesantes a la luz de hipótesis interesantes, y su recolección involucra sofisticación metodológica y planeamiento cuidadoso. Por lo tanto, digamos algunas palabras sobre la investigación científica.

3.3 INDAGACIÓN

Vagar con el vásculum del botánico y la red para insectos, coleccionar y describir indiscriminadamente cuanto se le cruza en el camino: ésta es la caricatura del biólogo de campo. La historia natural tradicional sí era puramente descriptiva, esto es, sus exploraciones consistían meramente en recolectar datos. (Esto no es para disminuir la importancia de la descripción en biología o en cualquier otra ciencia.) Sin embargo, el moderno biólogo de campo ya no recolecta datos indiscriminadamente. Recolecta datos a fin de resolver un problema. Un *problema* (un *Fragestellung*, o, en términos kuhnianos, un *puzzle*) puede ser generado por observaciones (datos) anteriores o por lagunas en el propio conocimiento. Por ejemplo, la descripción de la distribución geográfica de los miembros de cierta especie suministrada por un naturalista puede llevar al problema de por qué aparecen en ciertas áreas; y el filogenetista que quiere demostrar el carácter monofilético de un cierto grupo busca rasgos particulares de significación filogenética si todavía son desconocidos en todas las especies del grupo monofilético putativo. En suma, un problema puede concebirse como la diferencia entre lo que se sabe y lo que se quiere o se desea saber. (Más sobre problemas, Bunge, 1983a.)

(En esta concepción, la conducta de solución de problemas presupone conocimiento, esto es, capacidades cognitivas. Es más, la conducta de solución de problemas está dirigida a un propósito. Así, cualquier exploración conducida por animales incapaces de conocer no es del tipo de resolución de problemas: al no saber nada, no tienen lagunas de conocimiento que rellenar. A *fortiori*, no podemos alinearnos con los biólogos que dicen que todos los organismos sobrevivientes han "resuelto" exitosamente los "problemas" planteados por su ambiente por medio de "adaptaciones". Tampoco puede considerarse a la evolución biológica como un proceso de solución de problemas. Entendemos que éste es un lenguaje metafórico. Finalmente, resulta dudoso que estemos justificados en asignar a autómatas indagadores la capacidad de resolver problemas, ya que no tienen propósitos o fines propios, porque su actividad -aun cuando sea cuasi-intencional- es dependiente de sus propios fabricantes y usuarios. No son realmente máquinas indagadoras, sino máquinas auxiliares en la indagación humana.)

Sin embargo, ¿cómo se resuelven los problemas en ciencia? Sostenemos que se resuelven mediante la intuición y la indagación metódica.

3.3.1 *Intuición*

Al encontrarnos con un problema de tipo familiar podemos recurrir a nuestro propio fondo de conocimientos, o al conocimiento almacenado en los cerebros de otras personas, o en bibliotecas. (Recuérdese que hablar de conocimiento almacenado en una biblioteca es una metáfora.) Esto no bastará si el problema es de un nuevo tipo, porque en este caso necesitamos que conocimientos adicionales y algo de intuición o un toque personal nos guíen en la búsqueda de tal conocimiento. La intuición es esa capacidad mal definida para detectar problemas o errores, para "percibir" relaciones o similitudes, para formar conceptos o hipótesis, para concebir estrategias, para diseñar experimentos o artefactos: en resumen, para imaginar, concebir, razonar o actuar rápidamente de maneras novedosas. (Véase también Bunge, 1962.) Sin embargo, de la necesidad de intuición en todo campo del esfuerzo humano no se sigue que resulte suficiente, o que no podamos ir más allá de ella, o que sea superior a la experiencia y a la razón. En realidad, la intuición es insuficiente: no es un sustituto del trabajo, sino una guía para él. Debe llevar al *método* si queremos lograr algún conocimiento confiable sobre el mundo.

3.3.2 *Método*

Un *método* es una receta para hacer algo que puede formularse de manera explícita. Es una regla o conjunto de reglas para proceder de manera ordenada hacia una meta. Así, un método puede formalizarse como una *n*-upla ordenada, cada miembro de la cual describe un paso del procedimiento: primero hacer esto, luego aquello, etc. En contraste, la contemplación, la intuición y la adivinanza (es decir, ensayo y error) no son procedimientos metódicos porque no están dirigidos por reglas.

Algunos métodos son *generales*, es decir, utilizables en varios campos de investigación. Piénsese en lo que se llama el 'método científico', el 'método experimental' y el 'método estadístico'. Otros métodos, tales como la tinción de Giemsa o de Golgi en histología o la hibridización de ADN en biología molecular, son *específicos*, esto es, están restringidos a campos de investigación en particular. Los métodos específicos también se denominan 'técnicas'. Una técnica puede denominarse *científica* si (a) es intersubjetiva en el sentido de que da aproximadamente los mismos resultados para todos los usuarios competentes; (b) puede ser comprobada o controlada mediante métodos alternativos; y (c) hay hipótesis o teorías bien confirmadas que ayudan a explicar, al menos esquemáticamente, cómo funciona. Un método que sólo cumple con una o dos de estas condiciones se denomina *semicientífico*, y uno que no cumpla con ninguna, *no científico*. Nótese que la condición (b) es la de testeabilidad, y (c) es la de justificación, por oposición a la fe o autoridad.

Hemos mencionado el método científico como uno con largo alcance, en con-

traste con cualquiera de los métodos especiales. Ahora bien, se argumenta a menudo que no existe algo llamado *el* método científico. Este escepticismo parece ser una reacción contra la opinión ingenua según la cual el método científico es un conjunto de recetas simples, invariables e infalibles para encontrar verdades definitivas. Por supuesto, no existen tales reglas simples. De todos modos, argumentamos que existe un *método científico* en general, al que tomamos como consistente en la siguiente secuencia ordenada de operaciones cognitivas (Bunge, 1983a):

1. *Identificar un problema* (laguna o fisura en algún cuerpo de conocimiento), si es posible una pieza importante de ignorancia. Si el problema no es enunciado claramente, ir al siguiente paso; de otro modo, al paso 3.
2. *Enunciar el problema claramente*, de ser posible en términos matemáticos.
3. *Buscar información, métodos o instrumentos* que verosímilmente serán relevantes para el problema. Esto es, examinar lo conocido para ver si puede resolver el problema.
4. *Tratar de resolver el problema con ayuda de los medios colectados en el paso anterior.* Si este intento fallara, ir al siguiente paso; si no, al paso 6.
5. *Inventar* nuevas ideas (hipótesis, teorías o técnicas), *producir* nuevos datos empíricos o *diseñar* nuevos experimentos o nuevos artefactos que prometan resolver el problema.
6. *Obtener una solución* (exacta o aproximada) del problema con la ayuda de los medios conceptuales o materiales disponibles.
7. *Deducir las consecuencias* de la solución tentativa así obtenida. Si el candidato a solución es una hipótesis o teoría, computar las predicciones y las retrodicciones; si son nuevos datos, examinar el efecto que pueden tener sobre las ideas existentes; si son nuevos experimentos o artefactos, determinar sus posibles usos y abusos.
8. *Comprobar la solución propuesta.* Si el candidato a solución es una hipótesis o una teoría, ver cómo se desenvuelven sus predicciones; si son nuevos datos, tratar de replicarlos usando medios alternativos; si son nuevas técnicas o artefactos, ver cómo funcionan en la práctica. Si el resultado es insatisfactorio, ir al próximo paso, y si no al paso 10.
9. *Corregir* la solución defectuosa repasando todo el procedimiento o utilizando presuposiciones o métodos alternativos.
10. *Examinar el impacto* de la solución sobre el cuerpo del conocimiento de fondo, y enunciar algunos de los nuevos problemas que origina.

Afirmamos que el método científico, tal como se le acaba de describir, puede (y debería) aplicarse a todas las indagaciones, ya sean matemáticas o empíricas, científicas, tecnológicas o humanísticas. (Ésta es una tesis del *cientificismo*. No debería sorprendernos, entonces, que sea negada por varios filósofos.)

El método científico es el método más general en las ciencias y por lo tanto también en biología. Como se mencionó antes, hay más métodos generales, como el método experimental y el estadístico, aunque son menos generales que el método científico. Muchos biólogos sostienen que hay otro método general muy

importante en biología, el llamado *método comparativo*. Sin embargo, no existe algo que pueda llamarse *método* comparativo. En rigor, aunque la comparación entre dos o más cosas puede ser metódica (ordenada) antes que errática, no está regida por un método propio. Esto es, no existe un conjunto de reglas generales para comparar cosas en algunos aspectos.

Finalmente, advertimos contra una confusión de los términos 'método', 'metódica' y 'metodología'. Llamamos *metódica* a un conjunto de métodos utilizados en un cierto campo de investigación. Desafortunadamente la 'metódica' a menudo se equipara erróneamente con 'metodología'. Sin embargo, la *metodología* es una metadisciplina que estudia los procesos y los métodos de indagación. En otras palabras, metodología es *epistemología normativa.*

3.4 HIPÓTESIS

3.4.1 *Conjetura e hipótesis*

Resolver problemas, prácticos, cognitivos o morales, implica hacer conjeturas: que esta fruta es comestible y aquel animal, peligroso; que esta piedra puede ser adecuada para fabricar un hacha; y que esta acción puede beneficiar (o perjudicar) a mi semejante. Todo problema invoca alguna conjetura u otra, y toda conjetura plantea el problema adicional de descubrir si es adecuada, esto es, verdadera, eficiente o buena.

Sostenemos que no todas nuestras conjeturas merecen ser llamadas 'hipótesis', pero sólo las *conjeturas educadas* que son *formuladas explícitamente* y son *testeables* merecen llamarse hipótesis científicas. (Véase también Bunge, 1983d.) Entendemos que la expresión 'conjetura educada' designa a una que, lejos de ser desenfrenada, es compatible con algún conocimiento de fondo. La expresión 'formulada explícitamente' no sólo se refiere a proposiciones sino también a artefactos tales como la reconstrucción de un hacha de piedra o la reconstrucción histórica de un organismo extinguido. Finalmente, de una conjetura puede decirse que es testeable si y sólo si (a) se refiere exclusivamente (ya sea de manera verdadera o falsa) a entidades materiales (reales), y (b) puede comprobarse por su verdad contrastándola con los datos o con la masa del conocimiento aceptado. (Más sobre testeo en sección 3.7.) A una conjetura que no cumpla con estos estándares se la llamará *desbocada* o *pseudohipótesis.*

3.4.2 *Generación de hipótesis*

De acuerdo con el empirismo, la tarea de los investigadores se termina una vez que tienen sus datos. Cuando mucho, pueden compendiarlos y cuidadosamente generalizar la información así obtenida. En otras palabras, pueden formular ge-

neralizaciones inductivas, es decir, hipótesis de bajo nivel. De una hipótesis puede decirse que es de *bajo nivel* si no contiene conceptos sustantivos aparte de los que aparecen en los datos que cubre. Por ejemplo, una curva de ajuste de datos es la interpolación de una curva continua a partir de un número finito de datos, es de este tipo. También debería notarse que, aunque podemos formar una hipótesis mediante generalización inductiva a partir de los datos, no existe una operación consistente en *deducir* una hipótesis a partir de los datos. Cualquier definición de ese tipo es imposible porque de un dato d se siguen infinitos enunciados de la forma $h \Rightarrow d$ pero ninguna proposición h en particular. Recuérdese que $h \Rightarrow d$ es verdadera aun cuando h es falsa; y de d & $(h \Rightarrow d)$ no se sigue h. En resumidas cuentas, el primer modo de generación de hipótesis es saltar a una conclusión general a partir de los casos observados (inducción.)

Además de formar hipótesis por inducción, podemos formarlas notando asociaciones. Por ejemplo, si sabemos que A y B a menudo ocurren juntos, o uno después del otro, es verosímil que conjeturemos que A y B están correlacionados de alguna manera o incluso relacionados funcionalmente. Tales asociaciones pueden sugerir hipótesis de los siguientes tipos: cualitativa ("Todos los A son B"), estadística ("f por ciento de los A son B"), probabilística ("La probabilidad de que a esté en el lugar b en el tiempo t es igual a p"), o causal ("El evento a produce el cambio b en la cosa c".) Sin embargo, a menos que se esté entrenado científicamente, es verosímil que se vean correlaciones donde no hay ninguna. En otras palabras, tendemos a hacer caso sólo de las ocurrencias de A y B y descuidar los casos restantes, es decir A y no-B, no-A y B, y no-A y no-B. Esto puede llevar a la falacia de asociación o correlación inexistentes, que está en la raíz de muchas supersticiones, tales como la creencia en la magia, la astrología y las curas milagrosas. Moraleja: cuando se investigue la posible asociación entre dos ítems fácticos A y B, examínese la tabla de contingencia completa

$$\begin{array}{ll} \mathrm{A\ B} & \mathrm{A\ \bar{B}} \\ \mathrm{\bar{A}\ B} & \mathrm{\bar{A}\ \bar{B}}. \end{array}$$

Otra fuente de formulación de hipótesis es la provista por las similitudes o analogías, reales o imaginarias. Así, Faraday inventó el concepto de campo electromagnético por analogía con el concepto de cuerpo elástico, y la hipótesis de Darwin sobre la selección natural fue inspirada por sus lecturas sobre competencia económica y superpoblación.

Finalmente, las hipótesis más profundas y por lo tanto las más importantes no son sugeridas por ninguna de las opciones antes mencionadas, sino inventadas en forma novedosa. La razón es que las hipótesis más interesantes conciernen a hechos inaccesibles a la observación directa. Para entender, de entre su riqueza, algunas de nuestras percepciones complejas y desordenadas, debemos imaginar cosas o conexiones transfenoménicas. Por ejemplo Harvey, que disponía justamente de los mismos datos anatómicos que sus predecesores, fue el primero en hipotetizar que el corazón, las arterias y las venas forman un sistema de circuito

cerrado. Parte de su conjetura consistió en asumir la existencia de pequeños vasos sanguíneos (capilares) invisibles a simple vista, que conectaban al fin de las arterias con el comienzo de las venas.

Éste es incidentalmente uno de los muchos ejemplos que muestran que las hipótesis a menudo son generadas pensando en los problemas, no en los datos. Esto se debe a que las hipótesis de este tipo contienen conceptos que van más allá de los datos a la mano, esto es, conceptos que se refieren a hechos transfenoménicos. Tales conceptos a menudo son llamados 'teóricos' (en oposición a conceptos observacionales o empíricos.) Sin embargo, como no es necesario que formen parte de una teoría, el término *transempírico* parece preferible. A las conjeturas que contienen conceptos transempíricos las llamamos ***hipótesis de alto nivel.***

En suma, mientras que una hipótesis de bajo nivel puede ser generada a partir de los datos, una hipótesis de alto nivel es una invención generada por un problema, y su testeo requiere la búsqueda de nuevos datos.

3.4.3 *Alcance y profundidad de las hipótesis*

Distinguimos varios tipos de hipótesis. Nuestra primera distinción considerará el alcance o extensión. La extensión real de una hipótesis no siempre es aparente sino que debe ser revelada por el análisis lógico. Acerca del alcance de las hipótesis, tenemos:

1. Hipótesis *singulares*, tales como "Esta conducta pertenece a la exhibición del cortejo del animal".

2. Hipótesis *particulares*:

a] Hipótesis particulares *indefinidas*, tales como "Existe vida extraterrestre" o "Existen organismos capaces de metabolizar arsénico", que no especifican lugar o tiempo precisos, y resultan por lo tanto difíciles de comprobar. Tales hipótesis pueden verificarse exponiendo al menos uno de los ítems hipotetizados. Su refutación estricta requiere que todo el mundo sea registrado sin hallarse un referente de la hipótesis; una imposibilidad práctica. Desde un punto de vista pragmático, diremos que, sin embargo, no encontrar los ítems hipotéticos a pesar de una búsqueda larga y cuidadosa *confirma* la negación de la hipótesis, hasta nuevo aviso.

b] Hipótesis particulares *definidas*, tales como "Hay algas simbióticas en la epidermis de los corales".

3. Hipótesis *generales*:

a] Hipótesis *universales acotadas*, tales como "Todos los peces en este lago han sido envenenados", cuyos referentes están restringidos a ciertos lugares o tiempos.

b] Hipótesis *universales no acotadas*, tales como "Todos los protones están compuestos por quarks". Tales hipótesis son falseadas, exponiendo un solo contraejemplo. Sin embargo, son verificables sólo si nos las arreglamos para investigar el mundo entero –nuevamente una imposibilidad práctica. Por lo tanto, hemos de conformarnos con una noción más débil de confirmación.

Nótese que también hay hipótesis mixtas. Por ejemplo, la hipótesis "La Tierra gira" es singular en un respecto pero universal en otro. Más precisamente, es referencialmente singular pero universal con respecto al tiempo, ya que puede reformularse como "Para todo tiempo desde su formación, la Tierra gira". Esto también vale para otros enunciados legales astronómicos o geofísicos sobre nuestro planeta.

Las hipótesis no sólo presentan diferentes alcances, sino también diferentes profundidades. Definimos *profundidad* como sigue:

DEFINICIÓN 3.7. Una hipótesis *h* es *profunda* $=_{df}$ *h* contiene al menos un concepto transempírico (aparte de cualquier concepto lógico o matemático.) De otra forma, *h* es *superficial*.

Por ejemplo, la hipótesis, sostenida durante siglos, de que la sífilis es sólo una enfermedad de la piel resulta literalmente superficial. En la estela de la revolución microbiológica iniciada por Koch y Pasteur se formuló la hipótesis profunda (transempírica) de que la sífilis era causada por microbios, entonces entidades transfenoménicas. La hipótesis demostró ser cierta cuando más tarde se identificó a miembros de *Treponema pallidum* como los patógenos.

Ahora bien, la profundidad viene en grados. Por ejemplo, un modelo de *caja negra* de un sistema, esto es, uno que ignora su composición y estructura internos, es superficial, ya que representa sólo las entradas y salidas observables. Epítomes de este tipo de hipótesis son los modelos de estímulo-respuesta del conductismo y los modelos de cajas y flechas que se encuentran en la ecología descriptiva. Si damos lugar a los estados internos de la caja, nuestra representación del sistema se vuelve algo más profunda. Por ejemplo, si el etólogo clásico asume que la respuesta a un cierto estímulo depende de algún estado interno tal como una motivación o impulso, se dirá que ha construido un modelo de *caja gris*. Un modelo de caja gris todavía puede profundizarse especificando un mecanismo interno preciso, tal como explicitar los procesos neurofisiológicos que median entre la entrada sensorial y la salida conductual. Si esto se logra podemos hablar de un modelo de *caja traslúcida* del sistema en cuestión. En suma, las hipótesis más profundas son las que sugieren algún mecanismo, o sea, las hipótesis *mecanísmicas* o *dinámicas*. (Nótese que 'mecanísmicas' se refiere a procesos de todo tipo, no sólo mecánicos: mecánicos o eléctricos, químicos o celulares, organísmicos o ecológicos, económicos o culturales.)

Las hipótesis no mecanísmicas, contengan o no conceptos transempíricos, se denominan conjeturas *fenomenológicas*, *cinemáticas* o de *caja negra*. (Véase también Bunge, 1964.) Por ejemplo, la fórmula de la fotosíntesis "$6CO_2 + 6H_2O \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2$" no es superficial porque sólo contiene conceptos transempíricos, pero es fenomenológica puesto que no sugiere mecanismo alguno que relacione la entrada con la salida.

Las distinciones precedentes merecen expresarse en:

DEFINICIÓN 3.8. Llámase *mecanísmica* a una hipótesis, si y sólo si conjetura algún mecanismo. Si no, se la llama *fenomenológica*.

Resultará obvio que la investigación científica a menudo comienza con hipótesis fenomenológicas, que más tarde son reemplazadas por otras mecanísmicas. Por ejemplo, la hipótesis de que las biopoblaciones evolucionan es fenomenológica. Si se complementa con conceptos tales como mutación, selección natural y aislamiento reproductivo, que sugieren los mecanismos mediante los cuales las biopoblaciones evolucionan, puede convertirse en una hipótesis mecanísmica. Sostenemos que sólo las hipótesis mecanísmicas tienen poder explicativo (véase sección 3.6.3.)

3.4.4 *Estatus metodológico de las hipótesis*

Aunque todo el tiempo hacemos conjeturas, no asignamos a todas ellas el mismo estatus. Al examinarlas, algunas hipótesis demuestran ser más débiles o desordenadas, o menos profundas, testeables, verdaderas o útiles que otras. Así, servirá distinguir las hipótesis considerando su estatus metodológico.

Una primera distinción se da entre las hipótesis sustantivas y las no sustantivas. Una hipótesis se denomina *sustantiva* si describe, explica o pronostica hechos de algún tipo. En contraste, las hipótesis *no sustantivas* son valorativas o prescriptivas, es decir, pueden guiar la investigación o la acción. Pueden distinguirse dos tipos: metodológicas y axiológicas. Una hipótesis *metodológica* (o *instrumental*) es un enunciado tentativo concerniente a la manera de estudiar una hipótesis sustantiva, esto es, una conjetura acerca de la adecuación de un método, procedimiento o instrumento para investigar un cierto hecho. Una hipótesis axiológica es un juicio de valor, tal como la afirmación de que la teoría *A* explica un conjunto dado de datos mejor que la teoría *B*.

Una hipótesis puede o no pertenecer a algún cuerpo de conocimiento organizado, tal como una teoría. En caso afirmativo, hablamos de hipótesis *sistémicas*, y en caso negativo las llamamos hipótesis *erráticas*. Mientras que en ciencia preferimos hipótesis sistémicas, la mayoría de las hipótesis que formulamos en la vida cotidiana son erráticas. Las ventajas de las hipótesis sistémicas por encima de las erráticas son las siguientes. Por un lado, las hipótesis en un sistema pueden unirse para generar (lógicamente) más hipótesis. Por otro, las hipótesis sistémicas no sólo están respaldadas por todos los datos empíricos que puedan resultar compatibles con ellas, sino por los demás componentes del sistema.

Las hipótesis erráticas que sólo pueden dar cuenta de un pequeño subconjunto del conjunto total de los hechos al que se refieren se denominan *ad hoc*. Por ejemplo, la hipótesis "Los dinosaurios se extinguieron porque sus cerebros eran demasiado pequeños para hacer frente a un ambiente complejo" es *ad hoc*, porque sólo "salva las apariencias", es decir, el hecho de que los dinosaurios se extinguieron. Sin embargo, no toma en cuenta que habían sido exitosos durante toda la era Mesozoica, o por qué muchas otras especies también se extinguieron al final del período Cretácico.

Otras hipótesis *ad hoc* son introducidas para salvar a otras hipótesis puestas en

peligro por evidencia desfavorable. A éstas se les denomina hipótesis *protectoras*. El uso de hipótesis protectoras es legítimo si son testeables independientemente de la hipótesis que se supone deben proteger. Por ejemplo, Darwin hipotetizó que hay lagunas en el registro fósil a fin de salvar su teoría de la evolución y, en particular, la hipótesis del gradualismo evolutivo, que requiere la existencia de formas intermedias entre las distintas formas de organismos recientes. Esta hipótesis *ad hoc*, sin embargo, es testeable independientemente de la teoría de la evolución. La tafonomía –disciplina que estudia los procesos de fosilización– muestra, por ejemplo, que los organismos que poseen partes corporales sólidas, tales como un endo o exoesqueleto, estarán hiperrepresentados en el registro fósil, mientras que los organismos de cuerpo blando rara vez se conservan. A las hipótesis protectoras que son testeables independientemente las denominamos hipótesis protectoras *bona fide ad hoc*.

Sin embargo, no todas las hipótesis protectoras son *bona fide*. También hay hipótesis *mala fide*, que no son testeables independientemente o incluso no son escrutables en absoluto. Pueden encontrarse hipótesis *mala fide ad hoc* en el razonamiento cotidiano y en la pseudociencia. Por ejemplo, la defensa de los psíquicos de que sus fallas se deben a la hostilidad de alguien que inhibe sus capacidades paranormales, y la fantasía psicoanalítica de que la gente que no exhibe el complejo de Edipo lo ha reprimido son ejemplos de hipótesis protectoras *mala fide*.

Finalmente, unas palabras sobre la noción de *hipótesis nula*. Ésta es la hipótesis de que las variables bajo investigación en un experimento no guardan relación entre sí, de manera que los datos son "debidos al azar". La formulación de una hipótesis nula es indispensable en la etapa preliminar de una investigación experimental, cuando todo lo que se tiene es la hipótesis programática de que dos variables dadas pueden estar correlacionadas. Lo que hay que hacer entonces es refutar la hipótesis nula. La refutación de la hipótesis nula despeja el camino a la conjetura de una hipótesis sustantiva alternativa. Una vez que se cuenta con ésta, debería ayudar a diseñar un experimento más sofisticado apuntando a responder una pregunta más precisa, por ejemplo de la forma "¿Están las variables en cuestión relacionadas de tal y tal manera?". Por ejemplo, si H_0 = "$y = a$", entonces H_1 = "$y = ax + b$", H_2 = "$y = ax^2 + bx + c$", H_3 = "$a \exp (bcx)$", etc. Sólo el experimento ayudará a identificar la hipótesis más verdadera. (Véase sección 3.7.4.2. Para la noción de hipótesis nula en ecología, véase sección 5.2.)

3.5 TEORÍA Y MODELO

Aunque la conjetura de hipótesis es una actividad científica importante, no nos suministra automáticamente una posición comprensiva y coherente de la realidad. Para alcanzar esta última, debemos abocarnos a producir hipótesis que se refieran más o menos al mismo dominio de objetos y que nos permitan deducir otras hipótesis, o deducir éstas a partir de proposiciones aún más generales. Es-

to es, si nos esforzamos por un conocimiento sistemático, nuestras hipótesis deberán relacionarse entre sí lógica y referencialmente. En otras palabras, debemos organizar nuestras hipótesis en *teorías*, que a su vez deben ser organizadas en sistemas de teorías.

Una teoría es, entonces, un *sistema hipotético-deductivo*. Esta concepción obviamente contradice algunas interpretaciones más o menos populares, tales como la de que teoría es lo opuesto de hecho sólido, de que las teorías son lo mismo que las hipótesis, de que las teorías son orientaciones generales, o enfoques, o "prácticas científicas" (p. ej., Culp y Kitcher, 1989), o generalizaciones de hechos observados (inductivismo.) Rechazamos estas creencias por las razones siguientes. Primera, las teorías no están opuestas a los hechos. Lo que sí es cierto es que algunas teorías no se ajustan a los hechos que se supone representan, es decir, que son falsas, y otras son irrelevantes a aquéllos. Segunda, las teorías no son simples hipótesis sino sistemas de éstos. Es decir, aun en el caso especial en el que una teoría contiene sólo un único axioma, la teoría consiste en esta hipótesis *más* todas sus consecuencias. Tercera, como los enfoques no son ni más ni menos que modos de ver y manejar cosas o datos, a lo sumo pueden sugerir un tipo de teoría. Cuarta, tal como las hipótesis propiamente dichas, y a diferencia de las generalizaciones empíricas, las teorías contienen conceptos (de nivel superior) que no pueden ocurrir en los datos relevantes a ellas.

La concepción de una teoría como sistema hipotético-deductivo abarca teorías de todo alcance en todos los ámbitos, desde la matemática pura a la física, la biología y la ingeniería. Esta concepción nació hace más de dos milenios en las matemáticas: recuérdense los *Elementos* de Euclides. Sin embargo, desde que fue endosada por el empirismo lógico, que todavía tiene influencia, a menudo se cree que está inextricablemente ligada a la interpretación de teorías denominadas *neopositivista*, *estándar* o *recibida*. Esta interpretación revelada de las teorías ha sido atacada por los filósofos durante varios años (p. ej., véase Suppe, 1972, ed. 1974). Algunos filósofos han propuesto interpretaciones alternativas de las teorías, tales como las llamadas *estructuralista* y *semántica*. La interpretación neopositivista es inadecuada y así debemos buscar una concepción alternativa de las teorías. Sin embargo, esta alternativa no es la "semántica" ni la concepción estructuralista, como se expondrá en la sección 9.3.2 cuando se examine la teoría de la evolución. Por consiguiente, en este capítulo expondremos lo que llamamos interpretación *realista* de las teorías (desarrollada por el mayor de los autores: véase Bunge, 1967a, c, 1974a, 1977c, 1983a).

3.5.1 *Estructura y sintaxis de las teorías*

Comenzamos por esbozar algunos ejemplos de teoría, enfatizando la estructura o el esqueleto formal. La cuestión del contenido o interpretación de la teoría se abordará más adelante.

Considérese un conjunto de datos de la forma "*Fx*" o "*x* es un *F*". (Léase: "el in-

dividuo x [p. ej., un organismo] posee la propiedad F", o más rigurosamente "al individuo x se le atribuye una propiedad designada por el predicado F". Recordando la distinción propiedad-predicado de la sección 1.3.2, debemos tener en mente que la misma propiedad puede ser representada por distintos predicados en diferentes teorías.) En este esquema (o fórmula abierta) el x variable o en blanco puede tomar valores como las letras a, b, ..., n para nombrar individuos particulares. Entonces estamos ante una *base de datos* compuesta de n proposiciones, ninguna de las cuales es deducible a partir de otras que conforman la base. (Recuérdese también que los datos no son hechos sino proposiciones acerca de hechos.) Con estas proposiciones puede formarse la conjunción: Fa & Fb & ... & Fn, que puede abreviarse como "$(\forall x)_S Fx$", donde $S = \{a, b, ..., n\}$. La fórmula, que se lee "Para todo x en S, Fx", es una generalización empírica: comprende a todos los n datos en una sola proposición. Nótese que el cuantificador universal " está ligado o limitado al conjunto S; nuestra fórmula no afirma que todos los individuos sean F, sino sólo aquellos en el conjunto S, que es finito. Ésta es una de las limitaciones de las generalizaciones inductivas. Sin embargo, esta restricción puede levantarse: esto es, podemos *extrapolar* la generalización dada a un superconjunto T de S, como cuando conjeturamos que lo que vale para las ratas de laboratorio también vale para los seres humanos. Una limitación mucho más grave de las generalizaciones es que sólo contienen predicados que representan propiedades observables. Si hicieran afirmaciones sobre propiedades inobservables, tales como "es un descendiente remoto" o "es un oncogén", entonces no serían inducciones.

Comenzamos a partir de n datos y los comprimimos, sin correr riesgo alguno, en una generalización acotada. Hasta ahora, nada de teoría. Pero en otras ocasiones comenzamos con una o dos observaciones, saltamos tentativamente a una "conclusión general", deducimos algunas de sus consecuencias y quizá terminamos verificando su verdad. En otras ocasiones procedemos de una manera hipotético-deductiva: construimos una teoría –aunque del tipo más simple posible. Luego podemos proceder de una de dos maneras diferentes:

	$(\forall x)_S Fx$	$(\forall x)_S Fx$	
Inducción finita	$\uparrow$	$\downarrow$	*Deducción finita*
	$Fa, Fb, ..., Fn$	$Fa, Fb, ..., Fn$	

En suma, la base de datos $\{Fa, Fb, ..., Fn\}$ no es un sistema hipotético-deductivo, ya que no contiene hipótesis. En cambio, la hipótesis "Todos los x son F, donde x pertenece a S", junto con sus n consecuencias inmediatas, es un (pequeño) sistema hipotético-deductivo, pero no es una teoría *científica* porque no contiene ningún enunciado legal (más sobre enunciados legales en sección 3.5.8). Como la hipótesis "$(\forall x)_S Fx$" es el enunciado básico de este sistema hipotético-deductivo del que se siguen todos los demás enunciados, se le denomina *axioma* o *postulado*.

Si la hipótesis inicial incluye variables numéricas que se extienden sobre conjuntos infinitos, abarca un número infinito de proposiciones: genera un sistema

infinitamente más rico que los antes mencionados. Considérese, por ejemplo, la ecuación alométrica

$$y = ax^b, \text{ con } a, b \in \mathbb{R}, \quad [1]$$

que aparece en casi todas partes en biología. (Por ejemplo, la tasa metabólica basal de los mamíferos es dicha función de potencia de la masa corporal.) Con ayuda de matemáticas elementales, la ecuación [1] puede reescribirse en dos formas equivalentes:

$$x = (y/a)^{(1/b)}, \qquad \log y = \log a + b \log x. \quad [2]$$

Más aún, con la ayuda del cálculo podemos computar cualquiera de las infinitas derivadas de y:

$$y^{(n)} = ab(b\text{-}1)(b\text{-}2)...x^{b-n}, \text{ con } n \in \mathbf{N}. \quad [3]$$

De manera abreviada, la sola ecuación [1], en conjunción con unas pocas fórmulas matemáticas, ha generado el conjunto infinito $\{y^n(x) \mid n \in \mathbf{N}\}$, en el cual cada miembro se sigue deductivamente de su predecesor. Ésta, entonces, es una teoría completa. Sin embargo, las derivadas de orden superior no tienen interpretación biológica conocida, de manera que la teoría no tiene interés biológico excepto por su postulado [1] y su primera derivada. En otros casos, una sola fórmula, tal como una ecuación diferencial parcial, es tan rica que, con la ayuda de las matemáticas, genera una voluminosa teoría de interés científico.

Ahora vayamos al caso de un axioma singular al de dos o más postulados. Considérense las siguientes dos generalizaciones universales indeterminadas:

Todos los A son B, o $(\forall x)(Ax \Rightarrow Bx)$
Todos los C son D, o $(\forall y)(Cy \Rightarrow Dy)$,

donde los predicados C y D son independientes de A y B. Como consecuencia de esta independencia, nada se sigue de la conjunción entre las dos hipótesis. Es más, la diferencia en notación (x e y) para los individuos arbitrarios involucrados sugiere que no son del mismo tipo. El conjunto dado, entonces, es un *conjunto* de hipótesis pero no es un *sistema*: no es un sistema hipotético-deductivo o teoría.

Introduzcamos ahora el siguiente puente entre las dos hipótesis anteriores: $C = B$. Como ahora todos los individuos comparten una propiedad, es decir, la designada por B, pertenecen al mismo tipo, por lo que establecemos $x = y$ y escribimos

$$(\forall x)(Ax \Rightarrow Bx),$$
$$(\forall x)(Bx \Rightarrow Dx). \quad [4]$$

En virtud de la ley lógica del silogismo hipotético, de estas dos hipótesis se sigue la consecuencia:

Todos los A son D, o $(\forall x)(Ax \Rightarrow Dx)$ [5]

(Una consecuencia de un postulado, tal como [5], que no es evidente sino que necesita prueba mediante reglas lógicas, se llama *teorema*. Las consecuencias inmediatas u obvias de los postulados, definiciones o teoremas se denominan *corolarios*.)

Es más, si el individuo particular b resulta ser un A, inferimos que también es un D. (Tanto los casos generales como los particulares están potencialmente contenidos en el sistema [4], pero podemos no haber sabido de ellos al momento de asumir [4].) Tampoco son éstas las únicas consecuencias de [4]. En verdad, el principio lógico de adición "De p, infiérase p o q", donde q no necesita estar relacionado con p de manera alguna, nos permite deducir una cantidad infinita de proposiciones a partir de cualquiera de las fórmulas antes mencionadas. Sin embargo, este principio lógico debe manejarse con cuidado: en ciencia rara vez estamos interesados en contrabandear proposiciones que no tienen nada en común con las que estamos considerando. A fin de prevenir tal contrabando debemos agregar la siguiente previsión: en los teoremas de una teoría no han de aparecer predicados que no se encuentren en sus axiomas o definiciones.

3.5.2 *Semántica de las teorías: teoría del crecimiento poblacional*

Estudiemos ahora una teoría cuantitativa (o modelo matemático) muy modesta que aparece en varias ciencias, entre ellas la biología y la demografía. Sin embargo, desde el comienzo lo especializaremos en biología, esto es, "leeremos" o interpretaremos (la mayoría de) sus variables en términos biológicos.

Considérese una biopoblación de organismos asexuales unicelulares dotados de un suministro de alimento ilimitado, y protegidos de riesgos ambientales; asúmase también que el hacinamiento no afecta la tasa de reproducción. Es bien sabido que estos supuestos simplificadores son suposiciones "heroicas" (esto es, brutales idealizaciones: las poblaciones reales usualmente no se encuentran en tales condiciones ideales). Sin embargo, la teoría resultante "funciona" (es cierta) en una primera aproximación. (En verdad, se emplea para hacer proyecciones demográficas.) Si las suposiciones precedentes se expresan en términos cuantitativos, resulta una miniteoría o *modelo teórico*. La formularemos en una forma ordenada, esto es, de manera axiomática, declarando tanto los supuestos matemáticos como los semánticos, así como un par de consecuencias lógicas.

La miniteoría o modelo que se presentará presupone la lógica de predicados ordinaria con identidad, la teoría de los números, la teoría de conjuntos ingenua y la teoría elemental de ecuaciones de diferencias finitas. Los conceptos primitivos (esto es, indefinidos) de nuestro sistema axiomático se designan con P, T, x_t y k. Están sujetos a los siguientes axiomas:

A1 P es una colección finita no vacía.

A2 T es un subconjunto del conjunto de los números naturales (esto es, $T \subseteq \mathbf{N}$.)

A3 x_t es una función del producto cartesiano de P por T en los números naturales (esto es, x_t: $P \times T \rightarrow \mathbf{N}$.)

A4 El valor de x_t en $t = 0$ es mayor que 1, esto es $x_0 > 1$.

A5 k es un número real positivo (esto es, $k \in \mathbf{R}^+$.)

A6 El valor de x_t para cualquier t dado en T es proporcional a su valor en $t - 1$:

$$x_t = k\, x_{t-1}\ ,\ \text{o}\ x_{t+1} = k\, x_t\,. \qquad [6]$$

A7 P representa una población de organismos unicelulares asexuales.

A8 Un miembro arbitrario t de T representa el tiempo transcurrido desde el inicio ($t = 0$)

A9 x_t es igual a la (numerosidad de la) población P en el tiempo t, y x_0 representa la (numerosidad de la) población inicial.

A10 k representa la tasa de crecimiento de P.

Hasta aquí el fundamento de nuestra teoría. (El *fundamento* de la teoría consiste en una lista de sus presuposiciones lógicas y matemáticas, una lista de sus conceptos primitivos, o sea indefinidos, y sus postulados matemáticos y semánticos.) El resto es o consecuencia lógica o aplicación a casos particulares. Dejándonos llevar por la metáfora literaria, los primeros cinco postulados introducen los personajes principales mientras que los axiomas restantes constituyen la trama. El subsistema constituido por los postulados A1 a A6 es un *formalismo matemático* autocontenido: especifica la estructura (formal) de la teoría. Sin embargo, como cualquier otro formalismo, el nuestro puede ser interpretado de maneras alternativas, por ejemplo, describiendo colecciones de cosas de una cantidad de distinta especie, biológica o no biológica. Los axiomas restantes, A7 a A10, interpretan los cuatro conceptos básicos en términos *fácticos*: son *suposiciones semánticas*, que dotan al formalismo con un contenido (o significado) biológico. (Nótese que no interpretan los conceptos básicos en términos *empíricos* o fenoménicos, esto es, de observaciones u operaciones experimentales. Antes bien, se refieren a hechos, observables o no.) Abreviadamente, el subsistema constituido por los postulados A1 a A6 constituye la *sintaxis*, y los axiomas restantes, A7 a A10, constituyen la *semántica* de la teoría. Un conjunto diferente de postulados semánticos produciría una teoría diferente con la misma estructura. Así, la sintaxis y la semántica se complementan entre sí. Sin embargo, no están en pie de igualdad: toda interpretación debe ajustarse al formalismo como un guante a una mano. Siguiendo con la metáfora, un ilimitado número de guantes (interpretaciones) puede ajustarse a la misma mano (formalismo.) Esto es, el mismo formalismo matemático puede interpretarse en un número ilimitado de maneras alternativas.

El fundamento de nuestra miniteoría está ahora listo para su procesamiento, aplicación o prueba empírica. Sigue un par de consecuencias generales de los

postulados anteriores. La primera es un corolario o consecuencia inmediata, mientras que el segundo requiere deducción con la ayuda del principio de inducción completa.

COROLARIO. Para todo t en T,
(i) si $k = 1$, entonces $x_{t+1} = x_t$, es decir que la población permanece constante;
(ii) si $k > 1$, entonces $x_{t+1} > x_t$, es decir que la población crece;
(iii) si $k < 1$, entonces $x_{t+1} < x_t$, es decir que la población disminuye.

TEOREMA. Para todo t en T, $x_t = x_0 k^t$. (*Se demuestra* por inducción matemática.)

Como t es una variable y k un parámetro indeterminado, de este teorema se sigue una doble infinidad de proposiciones, una para cada par $\langle k, t \rangle$:

$$x_1 = x_0 k, \qquad x_2 = x_0 k^2, \qquad x_3 = x_0 k^3, \ldots$$

Nótese que, a fin de llegar a números, debe asignarse valores numéricos definidos tanto a la población inicial x_0 como al parámetro k. Éstos sólo pueden obtenerse de la observación: son datos. Más aún, la observación puede refutar el postulado A5 mostrando que k no es una constante. En realidad, en muchas poblaciones la tasa de crecimiento disminuye al aumentar la población, es decir la superpoblación amortigua el crecimiento. Una suposición común es que k no es constante sino que depende linealmente de x_t, es decir: $k_t = a - bx_t$, donde b es esencialmente el inverso de la capacidad de carga del hábitat. Esta suposición lleva a reemplazar A6 con la famosa ecuación logística $x_t = kx_t (1 - ax_t)$, que sin embargo es aún un descriptor pobre del crecimiento de la mayoría de las poblaciones (Solbrig y Solbrig, 1979; Lewontin, 1984.) Sin embargo, más allá de cuál ecuación de crecimiento resulte ser la más verdadera, será un *enunciado legal básico* contenido en la teoría. Todas sus consecuencias con significado biológico serán *leyes*$_2$ *derivadas*.

La miniteoría que acabamos de esbozar es conceptualmente tan improblemática que nada de importancia científica se ganó al axiomatizarla. El nuestro ha sido meramente un ejercicio didáctico dirigido a exhibir tanto la estructura hipotética deductiva como el contenido fáctico de las teorías científicas. Sin embargo, la axiomática tiene varias ventajas. Primera, resulta conveniente para toda clase de propósitos didácticos, ya que es más fácil recordar un puñado de axiomas y unos pocos teoremas notables que evocar un largo y desordenado conjunto de fórmulas. Segunda, la axiomatización es el único camino para asegurar que una proposición es realmente (o no) parte de una teoría dada. En particular, puede ser necesario revisar si una proposición dada es una suposición provechosa antes que ociosa. O puede desearse revisar si una proposición dada en efecto se sigue de las premisas dadas en vez de haber sido contrabandeada dentro de la teoría. Tercera, la axiomatización se requiere para distinguir a las suposiciones de sus consecuencias lógicas, así como distinguir a las suposiciones de las definiciones. (Más sobre definiciones en sección 3.5.7.1.) Lo último a veces es necesario para

evitar la demostración de definiciones o el paso de definiciones a hipótesis empíricamente infundadas. En otras palabras, la axiomática clarifica la forma lógica y el estatus metodológico de cualquier componente de una teoría. Cuarto, expone los referentes de una teoría. Por ejemplo, una axiomatización adecuada de la teoría de la evolución debería especificar explícitamente qué evoluciona. En último lugar, pero no por ello menos importante, la axiomática convierte al desorden conceptual en orden. (Para más virtudes de la axiomática véase, p. ej., Hilbert, 1918; Bunge, 1973b.)

Como a la axiomatización se le confunde ocasionalmente con la formalización, y a ésta con la simbolización, podría ser útil señalar las diferencias entre estas operaciones. Una axiomatización puede, pero no necesita, involucrar una formalización y simbolización de sus conceptos y enunciados. Por ejemplo, ocasionalmente los axiomas, definiciones y teoremas de una teoría pueden expresarse simplemente en lenguaje corriente. Si abreviamos los conceptos y enunciados con símbolos, efectuamos una simbolización, aunque no una formalización. Sólo si a los constructos involucrados se les dota con una forma lógica y matemática precisa es que hablamos de formalización. Por supuesto, la formalización usualmente involucra simbolización, pero no equivale a una axiomatización: una desordenada lista de fórmulas no es un sistema axiomático.

El axioma anterior ilustra lo que llamamos la concepción *realista* de las teorías (en particular científicas) como formalismos matemáticos enriquecidos con suposiciones semánticas o relaciones concepto-hecho. Es realista porque involucra interpretar los conceptos matemáticos en términos objetivos o impersonales en lugar de apariencias, observaciones o experimentos. Esto es, ve a las teorías científicas con un contenido fáctico pero no empírico: se refiere a las cosas de afuera, no a nuestras acciones para manipularlas o revisar la teoría misma. Ninguna teoría científica concierne a su propia verificación. Sin embargo, una teoría puede tener contenido empírico si *es* una teoría sobre la experiencia, por ejemplo una teoría psicológica.

3.5.3 *Grados de abstracción, generalidad y profundidad de las teorías*

3.5.3.1 Grados de abstracción

Las teorías pueden dividirse de dos maneras diferentes: considerando su abstracción y considerando su generalidad. Comencemos con la abstracción, donde el término 'abstracción' se usa en su sentido semántico, no en el sentido epistemológico de lejanía de la experiencia sensorial. En lo que respecta a su grado de abstracción semántica (o interpretación), una teoría puede ser de alguno de los siguientes tipos:

1. *Abstracta* o *no interpretada*, tal como el álgebra de Boole y la teoría de conjuntos;
2. *Semiabstracta* (o *seminterpretada*), tal como el cálculo proposicional (un modelo de álgebra de Boole);

3. *Interpretada en términos matemáticos*, tal como el cálculo infinitesimal (en el cual todas las funciones son interpretadas tomando valores en el conjunto de los números reales);

4. *Interpretada en términos fácticos*: todas las teorías en ciencia y tecnología.

A fin de ejemplificar la interpretación de las teorías abstractas, hacemos uso de una de las teorías abstractas más simples: la teoría de los semigrupos. Esta teoría algebraica puede introducirse mediante la siguiente definición axiomática: un semigrupo $G_{1/2}$ es un conjunto arbitrario S junto con una operación asociativa (concatenación) o entre dos miembros cualesquiera de S. En símbolos:

$G_{1/2} = \langle S, \circ \rangle$ tal que, para cualesquiera x, y y z en S, $x \circ (y \circ z) = (x \circ y) \circ z$

Nótese que la naturaleza de los elementos tanto del conjunto como de la operación se dejan sin especificar. Por esto es que a la teoría se le llama 'abstracta'. La teoría de semigrupos puede ser complicada (enriquecida) de muchas formas. Esto es, puede construirse cualquier cantidad de semigrupos abstractos simplemente agregando suposiciones consistentes con el postulado de asociatividad. Uno de ellos podría ser que S contiene un elemento identidad e: para todo x en S, $e \circ x = x \circ e = x$, en cuyo caso el semigrupo se denomina *monoide*.

Un número indeterminado de objetos, muchos conocidos y otros por inventar, satisfacen la definición anterior de semigrupo. Esto es, hay un número indefinido de *interpretaciones matemáticas* o *modelos*$_1$ de un semigrupo. Uno de los más simples lo constituyen los números naturales $\mathbb{N}$ junto con la operación adición, es decir $M_1 = \langle \mathbb{N}, + \rangle$. En verdad, para tres números enteros no negativos cualesquiera x, y y z, $x + (y + z) = (x + y) + z$. (En realidad M_1 es un monoide, ya que cero se comporta como el elemento unidad para la adición: para todo x en S, $x + 0 = 0 + x = x$.) En otras palabras, desde el punto de vista del álgebra abstracta, M_1 resulta de $G_{1/2}$ al agregarle las suposiciones semánticas (es decir interpretaciones)

$\text{Int}(S) = \mathbb{N}$, $\text{Int}(\circ) = +$.

Un modelo alternativo se producie al interpretar S como el conjunto $\mathbb{Z}$ de los enteros y o como la multiplicación, esto es, $M_2 = \langle \mathbb{Z}, \times \rangle$. Pero, por supuesto, la adición y la multiplicación de números enteros llegaron históricamente mucho antes y sólo proveyeron dos ejemplos "concretos" de modelos$_1$ del formalismo de semigrupo abstracto, una invención del siglo XX. (Para más sobre modelos lógicos y verdad formal, véase Bunge, 1974b.)

Las relaciones entre una teoría abstracta A y cualquiera de sus modelos M_i son la interpretación y su contraparte, la abstracción:



Sin embargo, la interpretación en cuestión no es fáctica o empírica sino *matemática*. Así, considérese la fórmula "$(\forall x)(\exists y)(x \circ y = x)$", que se presenta en teoría de grupos. "Dice" que el grupo contiene un elemento que, cuando se le concatena con un elemento arbitrario del mismo grupo, lo deja inalterado: ese elemento designado es, por supuesto, el elemento unidad que antes llamamos *e*. La fórmula dada vale (es matemáticamente verdadera) si se considera que los elementos del grupo son enteros, en cuyo caso el elemento unidad es cero.

A fin de manejar tales teorías abstractas, la *teoría de modelos* fue construida sistemáticamente, en particular a partir de principios de la década de los cincuenta. Esta empresa metamatemática tuvo tres metas principales. Una fue ayudar a descubrir los formalismos abstractos (sistemas hipotético-deductivos no interpretados) comunes a los miembros de una gran familia de teorías matemáticas. Una segunda finalidad fue elaborar un criterio de consistencia utilizable. (Una teoría abstracta es consistente si y sólo si tiene al menos un modelo$_1$ –es decir, si sus fórmulas son verdaderas al menos bajo una interpretación matemática, por ejemplo en términos numéricos.) Un tercer objetivo fue introducir el concepto de verdad (formal) para las fórmulas de una teoría abstracta. (Se dice que un enunciado es verdadero en *A* si y sólo si es verdadero en todo modelo$_1$ de *A*, esto es, vale bajo toda interpretación de los conceptos básicos de *A*. La familiar traducción metafórica de Leibniz de esta idea es: una proposición es lógicamente verdadera o tautológica si y sólo si se cumple "en todos los mundos posibles", esto es, bajo toda interpretación. Esta poética versión resulta útil para sugerir que la verdad lógica no tiene nada que ver con la adecuación al mundo real.) La tercera meta fue proveer una herramienta para investigar las propiedades globales de las teorías, tales como consistencia e isomorfismo interteórico –o falta del mismo. (Véase, p. ej., Tarski, 1954-1955.)

Si se considera nuestra crítica de la interpretación "semántica" de las teorías en la sección 9.3.2., es importante advertir que los modelos, en el sentido de la palabra antes mencionado, lógico o de la teoría de modelos, es decir, los modelos$_1$ son interpretaciones de fórmulas o teorías abstractas *dentro de las matemáticas*. Así, Tarski (1953:11), el padre de la teoría de modelos moderna, afirma: "Una posible realización en la que todas las sentencias válidas de la teoría *T* se satisfacen, se llama modelo de *T*" -donde *T* es una teoría abstracta (o formalizada) como las teorías de grupos, reticulados y anillos, no una "concreta" como la trigonometría o el cálculo, y mucho menos una fáctica como la mecánica o la teoría de la selección. Otro constructor de la teoría la describe así: "La teoría de modelos trata, por un lado, con las relaciones entre las propiedades de las sentencias o conjuntos de sentencias especificadas en un lenguaje formal [esto es, abstracto], y de las estructuras o conjuntos de estructuras matemáticas que satisfacen estas sentencias, por otro" (Robinson 1965, p. 1.) Y en un libro de texto convencional leemos "La teoría de modelos es la rama de la lógica matemática que trata de la conexión entre un lenguaje formal [teoría abstracta] y sus interpretaciones [matemáticas] o modelos" (Chang y Keisler, 1973:1.) Esto es, la interpretación matemática es una relación constructo-constructo y, más particular-

mente, un asunto interteórico. Por lo tanto, la teoría de modelos es incompetente para decir algo sobre contenidos extra-matemáticos, por ejemplo, biológicos.

En contraste, al concebir teorías científicas estamos interesados en establecer relaciones constructo-hecho, esto es, relaciones entre teorías por un lado y algunas cosas o eventos por otro. En otras palabras, estamos interesados en interpretaciones *fácticas* de formalismos matemáticos, esto es, en modelos fácticos (modelos$_2$), en vez de modelos matemáticos. En principio, semejante modelo fáctico puede obtenerse mediante la interpretación en términos fácticos, de (1) una teoría abstracta, (2) una teoría semiabstracta o (3) una teoría abstracta matemáticamente interpretada, o (4) una teoría matemática "concreta" que no proviene de teoría abstracta alguna (véase *supra*). Si nos dejamos llevar por el discurso de modelos, en los casos (2) y (3) un modelo fáctico sería un modelo$_2$ de un modelo$_1$. Sin embargo sólo hay un puñado de ejemplos de los casos (1)-(3) en ciencia y tecnología. Los ejemplos mejor conocidos de este tipo son: (a) el álgebra de Boole puede interpretarse en términos de circuitos eléctricos; (b) la combinatoria puede usarse para manejar combinaciones y permutaciones de objetos de cualquier tipo; (c) la teoría del empaquetamiento (o combinatoria geométrica) puede usarse para minimizar el desperdicio de material de embalaje. En realidad, la mayoría de las teorías científicas pertenece a (4), esto es, hacen uso de formalismos matemáticos no derivados de teoría abstracta alguna. Comúnmente incluyen ecuaciones diferenciales (o de diferencias finitas) que, interpretadas adecuadamente en términos fácticos, representan ecuaciones de tasa o ecuaciones de movimiento (esto es, la distribución o "difusión" de una población sobre un territorio.)

Para dar un ejemplo, de nuevo utilizamos la teoría abstracta de semigrupos. La interpretación de S como el conjunto de todas las oraciones de un lenguaje, y o como la concatenación de oraciones, resulta en el modelo fáctico más simple posible de un lenguaje arbitrario (natural o artificial.) En realidad, las oraciones en cualquier lenguaje dado se concatenan asociativamente: Si x, y y z son oraciones de un lenguaje, también lo es su concatenación $x \circ y \circ z$, que satisface la ley asociativa: $x \circ (y \circ z) = (x \circ y) \circ z$.

Un modelo$_2$ alternativo se obtiene interpretando S como la colección de todas las cosas concretas (o individuos sustantivos) y o como adición (o yuxtaposición) física. Este modelo exactifica la noción intuitiva de adición física, que ocurre en proposiciones tales como "La biomasa de dos biopoblaciones tomadas juntas (o "sumadas") es igual a la suma de sus biomasas individuales". Claramente, este modelo es de interés para todas las ciencias fácticas y su ontología subyacente, aunque sólo sea porque permite definir la relación parte-todo de una manera exacta. En verdad, si x e y son individuos sustanciales, entonces x es parte de y, o abreviadamente $x \sqsubset y$, si y sólo si $x + y = y$, donde + significa aquí adición física, una interpretación ontológica de la operación de concatenación o (Bunge, 1977a).

Los modelos$_2$ (lingüístico y ontológico) antes expuestos son meramente interpretaciones fácticas de una teoría abstracta lista para usar. Esto es, cada una de ellas resultó de enriquecer una teoría abstracta A con un conjunto I de interpretaciones fácticas de los conceptos básicos (no definidos) de A. En símbolos obvios, $T = Cn$

($A \cup I$), donde '$Cn\ X$' debe leerse "el conjunto de todas las consecuencias lógicas de X". Llamamos a los modelos_2 que resultan de asignar una interpretación fáctica a los conceptos básicos de una teoría abstracta ***modelos ligados***.

Sin embargo, esta situación es bastante excepcional en biología: en este campo la mayoría de los modelos no son ligados, es decir, deben elaborarse desde el principio. Más aún, sus formalismos matemáticos se construyen con componentes tomados de varias teorías matemáticas existentes, tales como álgebra de escuela secundaria, geometría euclideana y cálculo, ninguna de las cuales es abstracta. A los modelos_2 que no resultan de asignar una interpretación a los conceptos básicos de una teoría abstracta se les llama *modelos libres*.

3.5.3.2 Grados de generalidad

Las teorías vienen no sólo en diferentes grados de abstracción, sino también en diferentes grados de generalidad. (Cuanto más abstracta es una teoría, más general es, pero no necesariamente se cumple la recíproca.) Por ejemplo, una teoría de crecimiento poblacional es más general que una teoría sobre el crecimiento de una población de *Drosophila*, y una teoría de la síntesis de proteínas es más general que una teoría de la síntesis de mioglobina. Las primeras son *teorías generales* mientras que las últimas son *teorías especiales* o *modelos teóricos* (modelos_3.) La relación entre ambas es: un modelo teórico se sigue de una teoría general G cuando esta última es enriquecida con un conjunto de suposiciones subsidiarias (o auxiliares) S -en nuestros casos, las que individualizan a los miembros de la población o la proteína en cuestión, respectivamente. En símbolos obvios, $M_i = Cn(G \cup S_i)$, léase "M_i es igual al conjunto de las consecuencias lógicas de la unión de G y S_i".

De los supuestos subsidiarios S puede decirse que bosquejan los rasgos específicos de los referentes de la teoría en cuestión. Por ejemplo, en una aproximación muy burda, una célula puede bocetarse como una esfera; en una segunda aproximación, como una esfera que contiene una esfera más pequeña -el núcleo- y así sucesivamente. Un boceto alternativo S' producirá, en conjunción con G, un diferente modelo_3 M' de las mismas cosas, o de diferentes cosas de la misma clase general. Como el ingrediente S de M es una idealización de las cosas de interés, puede decirse que M describe directamente el objeto modelo bosquejado, y sólo en forma mediata su(s) referente(s) real(es.) Es más, puesto que cualquier boceto S es únicamente un "cuadro" idealizado de los referentes reales, mientras que M describe S en forma precisa, describe sólo a su(s) referente(s) real(es) en alguna aproximación. Si la teoría específica M resulta no ajustarse satisfactoriamente a su(s) referente(s) real(es), entonces debe repararse G, S o ambos. Si G tiene buenos antecedentes, el sospechoso será S y se ensayará un boceto S' distinto referido a los mismos referentes reales. De otra forma, puede que deba cambiarse tanto a G como a M. Así, los modelos_3 o idealizaciones de referentes reales, tales como gases ideales, electrones libres y poblaciones ideales, no son fantasías ociosas sino bosquejos conceptuales de cosas reales, introducidos con el único objeti-

vo de iniciar la teorización. Las complicaciones se añaden sólo a medida que se necesitan, esto es, conforme las discrepancias entre el modelo_3 y la realidad se vuelven serias. A medida que la ciencia avanza, se supone que sus modelos representan a sus referentes reales con exactitud cada vez mayor.

En forma similar con los modelos_2 de teorías abstractas, una teoría especial construida mediante el enriquecimiento de una teoría general se denominará un modelo_3 *ligado*. Si no se cuenta con una teoría general, una (mini)teoría o modelo_3 M debe formularse a partir de nada. Semejante teoría se denominará modelo_3 *libre*. Como en el caso de los modelos libres $G = \varnothing$, un modelo libre consiste exclusivamente en suposiciones especiales y sus consecuencias lógicas, esto es, $M_i = Cn(S_i)$.

En lo que respecta a la (real o potencial) generalidad (o cobertura, o rango), una teoría fáctica puede caer en una de las clases siguientes:

1. *Específica* (= modelo teórico = modelo_3), tal como la teoría del oscilador lineal y como un modelo de acción de una droga sobre un cierto órgano. Propiedades semánticas: (a) todos los conceptos tienen un contenido fáctico; (b) la clase de referencia es de tipo bastante estrecho, por lo común, una especie (en sentido ontológico, no biotaxonómico.) Propiedades metodológicas: (a) conceptualmente testeable (es decir, se puede comprobar de manera bastante directa si el modelo es consistente con las partes relevantes del grueso del conocimiento precedente); (b) completamente testeable en forma empírica (esto es, confirmable o rechazable con tal que se la enriquezca con algunos datos empíricos D. Esto significa que lo que se encuentra sujeto a pruebas no es la teoría T en sí misma, sino $T \cup D$.)

(Las teorías específicas o modelos_3 no deberían confundirse con subteorías. Una teoría T_2 es una *subteoría* de una teoría T_1 si y sólo si de T_1 se sigue T_2 o, de manera equivalente, toda fórmula de T_2 está incluida en T_1. En otras palabras, una subteoría es parte de otra teoría. En contraste, una teoría específica contiene suposiciones que no aparecen en la teoría general, por lo tanto no puede ser parte de esta última. En cambio, es una especialización o aplicación de una teoría general.)

2. *General*, tal como la mecánica clásica de partículas, la teoría genética de poblaciones y la teoría de selección organísmica (véase sección 9.2.2.) Propiedades semánticas: (a) todos los conceptos tienen un contenido fáctico y (b) la clase de referencia es un género (en sentido lógico), todo miembro del cual es representable mediante alguna teoría de tipo (1.) Propiedades metodológicas: (a) conceptualmente testeable; (b) empíricamente testeable con tal que se la enriquezca con suposiciones subsidiarias S, hipótesis indicadoras I y datos D. Esto es, lo que se halla sujeto a prueba es $T \cup S \cup I \cup D$.

3. *Hipergeneral completamente interpretada*, tal como la mecánica del continuo, la teoría de la morfogénesis de Turing-Rashevsky y la teoría general de la selección (véase sección 9.2.2). Propiedades semánticas: (a) todos los conceptos tienen un contenido fáctico; y (b) la clase de referencia es una gran familia, cada miembro de la cual es representable mediante una teoría de tipo (2). Propiedades metodo-

lógicas: (a) conceptualmente testeable; y (b) empíricamente no testeable por sí misma pero puede volverse testeable empíricamente si se la enriquece apropiadamente con supuestos subsidiarios de manera que pueda convertirse en una teoría tipo (2).

4. *Hipergeneral seminterpretada* (o *andamiaje* teórico), tal como la teoría de la información, teoría general de sistemas, teoría de juegos, teoría de autómatas, teoría general del control y teoría ontológica de la selección (véase sección 9.2.2.1.) Propiedades semánticas: (a) sólo se asigna interpretación fáctica a algunos conceptos; y (b) la clase de referencia es una familia amplia, cada miembro de la cual es representable mediante una teoría de tipo (3). Propiedades metodológicas: (a) conceptualmente testeable; y (b) empíricamente no testeable por sí misma pero puede volverse vicariamente testeable al ser completamente interpretada y enriquecida con supuestos subsidiarios.

3.5.3.3 Grados de profundidad

Como las hipótesis, las teorías pueden ser más o menos profundas. Por ejemplo, la electrodinámica cuántica, que construye los rayos de luz como haces de fotones, es más profunda que la electrodinámica clásica, y ésta a su vez es más profunda que la óptica ondulatoria, la cual es más profunda que la óptica geométrica. La genética molecular es más profunda que la genética clásica, ya que explica a la genética en términos moleculares, mientras que la genética clásica trataba a los genes como cajas negras. Y una teoría biopsicológica del aprendizaje es más profunda que una teoría conductista del aprendizaje, ya que explica al aprendizaje como un refuerzo de las conexiones neurales.

Debido a que todo lo que se dice sobre la profundidad de las hipótesis en la sección 3.4.3 también vale para las teorías, no necesitamos repetirlo aquí. Baste recordar que una teoría somera trata a sus referentes como cajas negras con entrañas invisibles. A menudo se le llama *fenomenológica*, por entenderse que representa fenómenos o apariencias. Este nombre es en realidad engañoso, porque incluso las teorías "fenomenológicas" contienen conceptos que denotan propiedades imperceptibles, entre ellos: energía, entropía y temperatura en el caso de la termodinámica, modelo de las teorías "fenomenológicas". Por esta razón, *teoría de caja negra* o *caja vacía* son nombres más adecuados. En contraste, una *teoría de caja traslúcida* es una que da cuenta de la composición, estructura y dinámica de sus referentes. Finalmente, *teoría de caja gris* es la que representa las entrañas de sus referentes de forma esquemática.

La teoría más profunda es la que postula algún mecanismo a un nivel de organización inferior: es una teoría *mecanísmica multinivel*, en contraste con una teoría fenomenológica de nivel único. El mecanismo no tiene por qué ser mecánico: puede ser electromagnético, químico, biológico, económico, político o lo que fuere. En la mayoría de los casos el mecanismo es imperceptible, por lo que debe conjeturarse antes de ser encontrado. No hace falta decir que si la teoría es científica el mecanismo debe ser experimentalmente accesible, no importa cuán

indirectamente. Una teoría profunda no sólo nos dice (parte de) lo que ocurre sino también en virtud de qué mecanismo ocurre. Así, tiene poder explicativo. Es más, puede resultar de interés práctico, ya que si conocemos cómo funciona una cosa podemos intervenir en su mecanismo a nuestra conveniencia.

3.5.4 *Teorías y modelos formales y fácticos*

En las secciones precedentes vimos que las teorías pueden tratar ítems matemáticos o fácticos. Por lo tanto resulta útil distinguir entre teorías formales y fácticas. Más precisamente, decimos que una teoría es *formal* si concierne exclusivamente a objetos conceptuales, tales como números o ideas filosóficas. En contraste, si el dominio o clase de referencia de una teoría contiene ítems fácticos tales como moléculas u organismos, se dice que es *fáctica*. Nótese que mientras una teoría formal no contiene referencia a ítems fácticos, una teoría fáctica puede contener no sólo enunciados fácticos sino también enunciados sobre atributos de sus propios conceptos. Por ejemplo, una teoría sobre el cambio de ítems fácticos contendrá enunciados matemáticos concernientes a los atributos (formales) de las funciones que representan el cambio de las cosas en cuestión, tales como continuidad o incremento monótono.

Más aún, debemos distinguir (al menos) dos acepciones diferentes de la palabra 'modelo': matemática (modelo$_1$) y científica (modelo$_2$ y modelo$_3$) (Bunge, 1969):

1. *Modelo de la teoría de modelos* (o *lógico*): una teoría M sobre objetos matemáticos de una cierta clase, que resulta de interpretar una teoría abstracta A en términos matemáticos. Se dice que las proposiciones de A son verdaderas (o se satisfacen) bajo la interpretación dada. (Por ejemplo, la teoría de grupos se satisface por las rotaciones en un plano.) Éste es el concepto de verdad matemática, que nada tiene que ver con el de correspondencia con la realidad.

2. *Modelo fáctico* (*epistemológico* o *teórico*): una teoría científica, técnica o humanística T sobre objetos concretos de una clase restringida. T puede concebirse como el resultado de interpretar un formalismo matemático F en términos fácticos. (Para empeorar la confusión terminológica de modelos, a los modelos fácticos que reposan sobre términos matemáticos a menudo se les denomina *modelos matemáticos*.) A diferencia de un modelo en el sentido de la teoría de modelos, un modelo teórico se refiere a cosas reales (o putativamente reales), y no necesita ser fácticamente cierto: puede ser sólo aproximadamente verdadero o incluso totalmente falso. En otras palabras, a diferencia de los modelos de la teoría de modelos, sujetos a una teoría de la verdad en términos de coherencia, los modelos fácticos se rigen por una teoría de la verdad (parcial o aproximada) en términos de correspondencia (véase sección 3.8.)

Como todos los referentes de una teoría formal son constructos matemáticos, las teorías formales (o modelos$_1$ abstractos) por definición no están relacionadas con la realidad. (Recuérdese la distinción entre cosa y constructo en las secciones

1.2 y 1.6.) En contraste, las teorías fácticas están doblemente relacionadas con la realidad, semántica y metodológicamente. Esto es, se *refieren* a cosas (certificada o putativamente) reales, y son *testeadas* mediante confrontación con la experiencia, que es parte de la realidad. Lo que debe hacerse a fin de preparar una teoría fáctica para testearla se explica a continuación.

3.5.5 *Operacionalización de teorías*

Sólo las generalizaciones empíricas de bajo nivel, tales como "Todas las aves tienen plumas", pueden confrontarse directamente con los datos empíricos. Cualquier hipótesis que contenga conceptos que no representen directamente rasgos observables de las cosas deben unirse a supuestos indicadores a fin de enfrentar la realidad. Tales *hipótesis indicadoras* unen inobservables con observables (véase también sección 3.2.3.) Por ejemplo, los signos vitales, como el latido cardiaco y la presión sanguínea, son indicadores de salud cuyos valores permiten comprobar hipótesis sobre procesos internos (en particular patológicos) del cuerpo humano. Lo que vale para las hipótesis vale, *a fortiori*, para sistemas hipotético-deductivos o teorías. Unos pocos ejemplos deberían ayudar a aclarar estas cuestiones, así como distinguir a los problemas metodológicos de operacionalización y prueba, de los problemas semánticos de interpretación o significado. También deberían terminar con el principio neopositivista de que las teorías son operacionalizadas enriqueciéndolas con "definiciones operacionales". En realidad, para empezar, una definición es una operación puramente conceptual, que no involucra operaciones empíricas (véase sección 3.5.7.) Segundo, una hipótesis indicadora es una conjetura que puede no pasar las pruebas empíricas.

Considérese la hipótesis de que el estrés (o mejor dicho el esfuerzo) da jaqueca, o más precisamente, que el estrés es una causa (suficiente) de la jaqueca: $S \Rightarrow H$. La jaqueca se siente directamente, pero no el estrés. Sin embargo, hay métodos estándar para medir niveles de estrés, por ejemplo la medición de niveles de corticosterona en sangre. Es decir, se usa la hipótesis indicadora de que cuanto más alto es el nivel de corticosterona, más alto es el nivel de estrés, o $C \Rightarrow S$. Tenemos entonces un sistema de dos hipótesis:

Hipótesis sustantiva	$S \Rightarrow H$
Hipótesis indicadora	$C \Rightarrow S$

La conjunción de ambas trae como consecuencia $C \Rightarrow H$

La variable interviniente o inobservable S ha desaparecido del resultado final, que sólo contiene predicados (variables) que denotan propiedades observables –la fórmula positivista ideal.

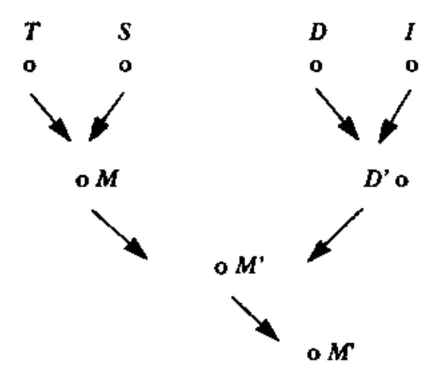
Debe subrayarse que no todas las hipótesis indicadoras tienen el mismo valor. Sólo las que están teóricamente justificadas y tienen un respaldo empírico pueden utilizarse con alguna confianza. La hipótesis que relaciona el castañeteo de

un contador Geiger con la desintegración radiactiva es del primer tipo: la teoría del instrumento muestra cuál es el mecanismo del castañeteo, y las mediciones con técnicas independientes muestran que el método Geiger resulta confiable. Éste no constituye el caso de la hipótesis mendeliana clásica acerca de que la relación genotipo-fenotipo es un mapeo biunívoco, de manera tal que los rasgos fenotípicos son indicadores confiables de los genotipos. En realidad, la pleiotropía, la poligenia, los efectos de posición y las fenocopias convierten al fenotipo en un indicador poco confiable del genotipo. Sin embargo, hoy día las técnicas de biología molecular permiten determinar el genotipo sin recurrir al (macro)fenotipo. De hecho, el genotipo se concibe hoy como un subconjunto del fenotipo (véase sección 8.2.3.3).

Ahora mostremos con algún detalle cómo operacionalizar una teoría, o sea, cómo prepararla para las pruebas empíricas. Llámese *T* a la teoría general a ensayar y *S* al conjunto de supuestos subsidiarios que especifican los rasgos particulares salientes del referente (p. ej., la composición, el entorno y la estructura del sistema en cuestión). A partir de *T* y *S* construimos el modelo (ligado) *M* del referente, que ha de someterse a prueba. Introducimos entonces el conjunto *I* de indicadores desarrollado con la ayuda de *T* y de fragmentos del conocimiento precedente en alguna de las ramas relevantes del conocimiento (p. ej., la óptica y la química.) Ingresemos también el conjunto *D* de datos empíricos disponibles concerniente a los referentes de la teoría y relevantespara la misma. Tales datos pueden resultar algo remotos con respecto a la teoría: por ejemplo, pueden consistir en secuencias de ADN reveladas por electroforetogramas, mientras que la teoría trata acerca de la herencia de genes que llevan a ciertas enfermedades. Esta laguna entre teoría y experiencia se salva por las hipótesis indicadoras *I*: éstas permiten "leer" tales macropropiedades en términos de hechos observables. Podemos llamar a esto una *traducción* de los datos disponibles al lenguaje de la teoría. Dichos datos traducidos *D'*, que se siguen lógicamente de *D* e *I*, a continuación alimentan el modelo *M* para dar el modelo traducido *M'*. Finalmente, este resultado vuelve a traducirse al lenguaje de la experiencia por medio de *I*. Esto es, *M'* se une a *I* para dar como consecuencia *M**, la operacionalización de la teoría o, mejor dicho, del modelo (ligado) *M*. Así, no es *T* misma sino algunas consecuencias de *T* junto con los supuestos subsidiarios *S*, los datos *D* y las hipótesis indicadoras *I* lo que se enfrenta a cualquier evidencia empírica nueva que pueda ser relevante a *T* (véase el diagrama de la página siguiente).

En suma, las hipótesis indicadoras (también denominadas erróneamente 'definiciones operacionales' y 'reglas de correspondencia') resultan indispensables para preparar a hipótesis y teorías para la prueba empírica. Sin embargo, recalcamos que usualmente no pertenecen a las teorías, esto es, constituyen supuestos extrateóricos. Así, mientras que todas las teorías científicas tienen un contenido fáctico (interpretación), la mayoría carece de contenido empírico. Sólo una teoría psicológica que trata con experiencia de algún tipo, tal como la teoría de la percepción del color, puede tener un contenido empírico.

La búsqueda de indicadores confiables es una tarea tanto teórica como empíri-



ca. Es una tarea teórica porque sólo las teorías pueden decirnos si un rasgo observable dado señala en realidad a un inobservable particular antes que a otro, cuando revelan la relación objetiva entre el fenoménico y el transfenoménico. Y sólo las comprobaciones empíricas pueden validar una hipótesis semejante. Hasta aquí, la operacionalización de teorías. (Véase Bunge, 1973b, para aplicaciones en física.) Nuestra opinión sobre la puesta a prueba de teorías se halla en desacuerdo con la denominada interpretación revelada, a la que nos referimos a continuación.

3.5.6 *La interpretación neopositivista o "revelada" de las teorías científicas*

La llamada *interpretación revelada* de las teorías científicas se originó en el Círculo de Viena (1926-1936), cuna del neopositivismo. Ésta era una versión del positivismo puesta al día con ayuda de la lógica matemática: ha sido denominada en forma acorde, 'empirismo lógico'. De acuerdo con dicha interpretación, las teorías científicas (a) son sistemas hipotético-deductivos construidos a partir de los datos mediante inducción, y (b) consisten en formalismos matemáticos interpretados en términos empíricos, esto es, observaciones y experimentos en vez de hechos independientes del sujeto cognoscente. (Es decir, la interpretación revelada es empirista y así agrupa la interpretación con la prueba.) Tal interpretación se lleva a cabo supuestamente vía *reglas de correspondencia* o apareamientos de conceptos y observaciones. Bridgman (1927) las denominó 'definiciones operacionales'.

De acuerdo con esta interpretación, el apareamiento concepto-experiencia sería directo en el caso de propiedades observables, tales como la disolución o la ruptura, e indirecto en el caso de inobservables, en particular propiedades disposicionales, tales como la solubilidad y la fragilidad. Carnap (1936-1937) y Hempel (1965:188ss) analizaron las reglas del segundo tipo como "sentencias de reducción bilateral" de la forma

Para todo x, si x se somete a la condición de prueba de tipo T, entonces x tiene la propiedad P si y sólo si x exhibe una respuesta de clase E.

(En símbolos autoexplicativos: $(\forall x)(Tx \Rightarrow [Px \Leftrightarrow Ex])$.)

Aquí se supone que *P* designa un predicado teórico (o transempírico) y *E* uno empírico. Por ejemplo, se dirá que una sustancia es soluble en agua (*P*) sólo en caso de que, vertida en un vaso de agua (*T*), se observe que se disuelve (*E*).

Desafortunadamente para el positivismo, ésta no es la manera en que los predicados teóricos son realmente interpretados en ciencia: las fórmulas de reducción bilateral sólo son artificios filosóficos arraigados en una tosca epistemología empirista. Considérese, por ejemplo, la ecuación alométrica que encontramos en la sección 3.5.1., y que ahora reescribimos en la forma

$$\mu = aM^b$$

Esta hipótesis es (aproximadamente) verdadera fácticamente desde varias interpretaciones, entre ellas las siguientes:

Int (μ) = tasa metabólica basal (mínimo recambio de energía) en mamíferos
Int (M) = masa corporal

Estas dos variables se miden con instrumentos que se encuentran en cualquier hospital bien equipado. Sin embargo, aun cuando se pueden leer sus valores en cuadrantes, los instrumentos que los contienen están diseñados con la ayuda de ciertas hipótesis indicadoras, que en realidad son fórmulas teóricas. Algunas son "Masa = Peso/aceleración gravitacional", "$\mu = c \cdot$ producción total de calor", "$\mu = d \cdot$ consumo de oxígeno", "$\mu = e \cdot$ producción de dióxido de carbono", donde c, d y e designan constantes empíricas. Cada una de las últimas tres fórmulas es una hipótesis indicadora: une al inobservable μ (metabolismo basal) con variables que son medibles en formas bastante directas. Cada una de estas hipótesis indicadoras se ve involucrada en el diseño y la operación de un instrumento de medición de un tipo determinado. Aunque sólo sea por esta multiplicidad, las pruebas empíricas no pueden conferir significados. En suma, *la interpretación precede a la prueba* y no al revés. La razón es obvia: antes de medir algo debemos saber qué intentamos medir. (Para críticas tanto del operacionismo como de la interpretación revelada, véase Bunge, 1967a, b, 1974a; y para una aplicación de la interpretación realista a las teorías físicas, véase Bunge 1967c.)

En resumen, de acuerdo con el empirismo lógico, una teoría científica es un formalismo hipotético-deductivo más un conjunto de reglas de correspondencia, alguno o todos los cuales pueden ser sentencias de reducción bilateral. En contraste, de acuerdo con nuestra versión del realismo científico, una teoría científica es un formalismo hipotético-deductivo más un conjunto de hipótesis de interpretación objetiva (o semánticas.) (Éstas son hipótesis, no reglas o definiciones: es más, es posible que deban cambiar a la luz de alguna nueva evidencia.) Por eso, los neopositivistas tenían razón sobre la sintaxis (estructura) de las teorías científicas, pero se equivocaban sobre su semántica (contenido o interpretación.)

Algunos filósofos han criticado la concepción positivista de las teorías cientí-

ficas por alguna o ambas de las siguientes razones: porque las construye como sistemas hipotético-deductivos o porque incluye en ellas descripciones de procedimientos de prueba. Estos críticos se han propuesto corregir alguna o ambas de estas presuntas fallas, produciendo una interpretación formalista que no involucra relaciones constructo-cosa. El formalismo viene en dos versiones: la interpretación estructuralista y la "semántica". Aplicadas inicialmente a las teorías físicas, ambas versiones también han entrado ahora a la filosofía de la biología bajo el título común de 'interpretación semántica de las teorías' (Beatty, 1981; Lloyd, 1988; Thompson, 1989). Debido a que en filosofía de la biología la interpretación "semántica" se define usualmente respecto a la estructura de la teoría de la evolución, la examinaremos con más detalle en la sección 9.3.

3.5.7 *Teorías y convenciones*

3.5.7.1 Definiciones

Nuestra simple teoría del crecimiento poblacional (sección 3.5.2), la cual ejemplificaba la sintaxis y la semántica de una teoría, contenía sólo postulados (o axiomas) a partir de los cuales derivamos un teorema y un corolario. No contenía definición alguna. Así, todos los conceptos en nuestra teoría del crecimiento poblacional son no definidos o *primitivos*. En realidad, los conceptos más importantes en cualquier contexto son los primitivos, porque ayudan a definir todos los demás conceptos en el contexto. (Sin embargo, los conceptos definientes en un contexto dado pueden resultar definidos en otro.) Por ejemplo, en teoría de los números, "uno" suele definirse como el sucesor de cero. Aquí los conceptos primitivos o definientes son, por supuesto, los de cero y sucesor. Otro ejemplo: el concepto de vida es usualmente no definido en la teoría de la evolución, pero es definible en ontología (véase capítulo 4).

El problema de hablar de definiciones es que la palabra 'definición' tiene muchas connotaciones populares (véase cualquier libro de texto de lógica, p. ej., Copi, 1968). Para evitar la ambigüedad, adoptamos una concepción bastante estrecha de las definiciones como *identidades* de la forma "el objeto definido = el objeto definiente", donde el objeto en cuestión es un signo o un constructo (Peano, 1921). Tales definiciones a veces se denominan *estipulativas* o *nominales*. Obviamente, de acuerdo con esta interpretación los objetos concretos no pueden ser definidos: sólo pueden describirse. Así la expresión 'definición real' es un nombre erróneo de 'descripción' y debe evitarse.

En lo que concierne a la forma lógica, hay dos tipos principales de definición (nominal): explícita e implícita. Una definición *explícita* es de la forma "$A =_{df} B$". Por ejemplo, "espermatozoide $=_{df}$ gameto masculino". El símbolo '$=_{df}$' se lee como "idéntico por definición". El símbolo '*df*' desempeña sólo una función metodológico: indica que A es el concepto definido o *definiendum*, y B el concepto definiente o *definiens*. Desde un punto de vista estrictamente lógico, entonces, las

definiciones explícitas son identidades. Hasta tal grado que, desde esta perspectiva, "$A = B$" es lo mismo que "$B = A$". Si A y B son proposiciones, una definición de la forma "$A =_{df} B$" trae como consecuencia la equivalencia "A, si y sólo si B", pero no a la inversa.

La definición de una clase es del mismo tipo que la definición de cualquier otro concepto: es una identidad. Aunque hay diferencias *epistémicas* entre, digamos, "$C =_{df} \{x \mid Px\}$" y "$1 =_{df}$ el sucesor de 0", no hay diferencias *lógicas* entre ellos. En el primer caso construimos un nuevo conjunto, en el segundo identificamos un nuevo concepto con una combinación de dos conceptos viejos ("0" y "sucesor").

En una definición *implícita* el concepto definido (*definiendum*) no puede expresarse en términos de otros conceptos: ocurre en combinación con otros constructos. En otras palabras, una definición implícita es una identidad donde el concepto definido no aparece solo a la izquierda. Ejemplo: "X es un ave $=_{df}$ X posee plumas". Otro ejemplo es suministrado por el concepto "si..., entonces" de la implicación lógica, simbolizada $\Rightarrow$, que puede definirse así: "Para cualesquiera proposiciones p y q, $p \Rightarrow q =_{df} \neg p \vee q$".

Un subgrupo de la clase de las definiciones implícitas lo constituyen las llamadas definiciones *axiomáticas*, que aparecen en las teorías axiomatizadas. Una definición axiomática es de la forma "A es [o se denomina] un $F =_{df} A$ satisface los siguientes axiomas: ...". Las definiciones axiomáticas funcionan bien en matemáticas porque son ideales para caracterizar objetos matemáticos, que son constructos. Sin embargo, si se les usa en las ciencias fácticas, fácilmente se les puede entender mal como "definiciones" de objetos concretos (dan cuenta de ello los defensores de la llamada interpretación estructuralista de las teorías). Incluso, nuestra teoría del crecimiento poblacional, por ejemplo, podría expresarse en forma de una definición axiomática y así se leería: "Definición 1: Un sistema relacional (estructura) $\mathscr{P} = \langle P, T, x_t, k\rangle$ *representa* una población de organismos, si y sólo si..." –y aquí se enumerarían nuestros diez axiomas. Sin embargo, sería un error concluir que nuestra teoría entonces *definiría* una población en vez de *describirla*. En realidad, toda definición axiomática puede descomponerse en uno o más postulados y una definición propiamente dicha. Por ejemplo, también podríamos expresar nuestra teoría del crecimiento poblacional en la forma: "Postulado 1: Existen sistemas concretos de tipo $\mathscr{P}$ *representables* por la estructura matemática $\langle P, T, x_t, k\rangle$, tales que..." –y aquí se enumerarían los diez axiomas, seguidos por la "Definición 1: Los sistemas de tipo $\mathscr{P}$ que satisfacen el postulado 1 se llaman *poblaciones organísmicas*". (Otro ejemplo es provisto por el postulado 4.1 y la definición 4.1.) Así, lo que se define es el *concepto* de (crecimiento de la) población, pero ninguna población concreta.

Debido a que las definiciones son identidades, cualquier proposición en una teoría que contiene el símbolo o constructo en el *definiendum* puede intercambiarse, *salva veritate*, esto es, sin cambio alguno en el valor de verdad, por una proposición que contiene el símbolo o constructo en el *definiens*. Por ejemplo, intercambiar el término 'espermatozoide' por la expresión 'gameto masculino' en la

proposición "Los espermatozoides de los nematodos no tienen flagelos" deja inalterado su valor de verdad. Otro requerimiento para una definición correcta es el de no creatividad. Esto significa que la introducción de una definición en una teoría no debe permitirnos deducir nuevos teoremas.

Ahora podemos deshacernos de un error popular: la creencia de que las definiciones especifican el significado de palabras o conceptos. Como las definiciones son identidades, el *definiens* no puede ser equiparado con el significado ni con la intensión del *definiendum*. En realidad el significado del *definiens*, si hay alguno, es anterior al significado del *definiendum*, que en virtud de la definición adquiere el significado del *definiens*. Por ejemplo, "gameto masculino" no es el significado de la palabra 'espermatozoide', pero el término 'espermatozoide' se identifica con la expresión 'gameto masculino' y así adquiere el mismo significado que esta última.

Como las definiciones son estipulaciones o convenciones y no supuestos, no son verdaderas o falsas, sino sólo útiles o inservibles, o prácticas o imprácticas. Así, no necesitan prueba ni evidencia empírica o ensayos. Repetimos: en ciencia fáctica las definiciones tienen referentes reales: solía llamárselas definiciones "reales" y así, rebosan de verdades de hecho. Ejemplo: 'Organismo multicelular $=_{df}$ Biosistema compuesto de células'. Todavía, incluso tales definiciones son convenciones. Lo que sucede es que podemos acostumbrarnos tanto a emplear los conceptos definidos que los encontramos "naturales". En principio, nada salvo la conveniencia práctica se opone a cambiar el nombre convencional de una cosa, propiedad o proceso.

Las definiciones son convenciones que descansan sólo en conceptos o en sus símbolos, no en hechos. Podemos hacer mucho con las cosas concretas accesibles a nosotros, excepto definirlas. Por ejemplo, un sistema de ecuaciones, tal como la mecánica newtoniana, no define a sus referentes, esto es, los cuerpos y su comportamiento, sino que los *describe*. Por este mismo motivo, si alguien dice que la vida está "definida" por el metabolismo, la autorregulación y la autorreproducción, o lo que fuere, debe entenderse que estas propiedades se consideran peculiares o características de los seres vivos. Es más, una conjunción de tales propiedades puede utilizarse como *criterio* o *prueba* para distinguir a los seres vivos de los no vivos, del mismo modo que el *aqua regia* se usaba como test para el oro.

Si la formulación de criterios, pruebas o indicadores para hechos inobservables es sistemáticamente mezclada con la definición, como es el caso con el operacionismo, arribamos a lo que se denominan 'definiciones operacionales'. El principal problema con las definiciones operacionales es que *simplemente no hay* definiciones operacionales (Bunge 1967a, 1974 a, b, 1983a.) En realidad, las definiciones operacionales son *hipótesis* indicadoras, no identidades. Por ejemplo, el condicional "*X* es una solución ácida si el papel tornasol se vuelve rojo en *X*", no nos dice qué *es* un ácido sino cómo *reconocerlo*. (El concepto moderno de acidez queda condensado en la identidad "Ácido = donante de protones. Ninguno de los dos conceptos *definiens* representa a un ítem directamente observable".) De igual modo, '*X* es homólogo con *Y* si *X* ocupa la misma posición en el sistema *A*

que *Y* en el sistema *B'* no nos dice qué es una homología sino, a lo sumo, cómo *reconocerla* (véase también Mahner, 1994a).

Otro ejemplo de tal error es la popular definición de "selección natural" en términos de reproducción diferencial. Por supuesto, la reproducción diferencial puede ser el resultado de la selección natural que nos permite reconocer que la selección puede haber ocurrido, en primer lugar. El proceso de selección puede consistir sólo en una interacción biosistema-entorno, esto es, puede contemplarse únicamente como un proceso ecológico (véase, p. ej., Bock y von Wahlert, 1965; Brady, 1979; Bradie y Gromko, 1981; Damuth, 1985; Brandon, 1990). El que este proceso pueda resultar en una reproducción diferencial debe formularse aparte como un criterio, no como una definición. (Véanse más ejemplos en Mahner, 1994a; para un análisis temprano del operacionismo en biología, véase Hull, 1968).

Otro error común es la creencia de que se ha establecido una definición operacional sólo porque los términos en el *definiens* son observacionales o casi, o porque podemos (directa o indirectamente) observar a sus referentes. Por ejemplo, la identidad "Fertilización $=_{df}$ Fusión de los núcleos de un gameto masculino y uno femenino" no es una definición operacional únicamente porque (a veces) podamos observar esta fusión bajo el miscroscopio. En resumen: cuidado con las definiciones operacionales, porque son pseudodefiniciones.

Finalmente, debemos señalar que si una fórmula es o no una definición, esto es, una convención, depende del contexto en el que aparece. Por ejemplo, las fórmulas "El agua es una sustancia compuesta por moléculas de H_2O" o "Un gen es cualquier segmento, continuo o no, de una molécula de ADN que ocurre como un molde en la síntesis de un polipéptido" son hipótesis sobre la identidad de ítems fácticos. Así, resultan verdaderas o falsas y necesitan ser puestas a prueba. Sin embargo, en un contexto (o teoría) diferente pueden aparecer como definiciones. Por ejemplo, en cierta teoría podemos desear remplazar la expresión 'sustancia compuesta por moléculas de H_2O' por el término 'agua'. Esto es ahora una convención, no una hipótesis, ya que podemos también sugerir el término 'aqua' (u 'eau', o lo que fuere) en vez de 'agua' en la definición.

3.5.7.2 Convenciones de notación, unidades y supuestos simplificadores

Toda teoría que se apoya en términos matemáticos contiene un conjunto de convenciones notacionales (explícitas o tácitas), que asignan objetos no-lingüísticos a signos. Distinguiremos dos tipos de convención notacional: reglas de designación y reglas de denotación. Una *regla de designación* asigna un constructo a un símbolo. Por ejemplo: "N designa al conjunto de los números naturales". Una *regla de denotación* asigna un ítem fáctico a un símbolo. Por ejemplo: "*w* denota el valor de aptitud de un organismo con un cierto genotipo".

Las teorías pueden involucrar *unidades*, entre ellas las de longitud, de masa y de tiempo. Las unidades son convencionales e intervienen en la misma caracterización de magnitudes tales como cantidades físicas. Aunque las unidades son

convencionales, usualmente no son completamente arbitrarias. Por ejemplo, el segundo o, más precisamente el segundo solar promedio, solía definirse como 1/86400 del día solar promedio, el que a su vez resulta de observaciones y cálculos astronómicos. (La definición más reciente de "segundo" involucra conceptos que aparecen en la teoría cuántica relativista.)

Todas las teorías, salvo las fundamentales, contienen *supuestos simplificadores*. Por ejemplo, en ciertos cálculos y mediciones hacemos de cuenta que el valor de π es 3.14; que el sistema de interés es una caja negra (es decir, que carece de estructura interna); que está perfectamente aislado o que sólo tiene las propiedades que hemos logrado descubrir hasta el momento; que ciertas variables discontinuas son continuas, o viceversa, y así sucesivamente. Todos estos supuestos simplificadores se introducen como convenciones para agilizar la modelización o la inferencia, e incluso para posibilitarlas.

En resumen, todas las teorías contienen convenciones y, paradójicamente, las teorías fácticas son las que más contienen. La moraleja epistemológica es obvia: aunque las teorías fácticas pueden representar a sus referentes de una manera bastante verdadera, tales representaciones no son cuadros o copias. En realidad son *construcciones simbólicas* que no guardan semejanza con los objetos que representan (véase postulado 3.5.) En particular, las teorías no son en manera alguna isomórficas con sus referentes. (Más información al respecto en sección 9.3.2.)

3.5.8 *Teorías y leyes (enunciados legales)*

En la sección 1.3.4 observamos que la palabra 'ley' es muy ambigua, porque designa cuatro conceptos diferentes: pauta objetiva (o regularidad natural), fórmula que se supone representa una pauta objetiva, regla (o procedimiento uniforme) basada en ley, y principio concerniente a alguno de los precedentes. Para evitar la confusión, habíamos llamado a estos conceptos ley_1, ley_2, ley_3, y ley_4, —o *pauta*, *enunciado legal*, *regla* (o *enunciado nomopragmático*)— respectivamente.

Por ejemplo, la ecuación de la tasa metabólica "$\mu = aM^b$" es una ley_2. Representa, en una buena aproximación, el metabolismo real (ley_1) de los mamíferos en condiciones ordinarias. Ecuaciones alternativas de la tasa metabólica basal —que involucran edad u otras variables además de la masa— son diferentes $leyes_2$ que representan la misma pauta objetiva o ley_1 a mejores o peores aproximaciones. Una de las reglas ($leyes_3$) basadas en el enunciado legal mencionado prescribe el requerimiento promedio de ingesta de calorías (o joules) de un mamífero adulto. Otra regla semejante basada en una ley nos permite prescribir la dosis requerida de una droga para producir el efecto deseado. Un ejemplo de ley_4 o enunciado metanomológico es "Todas las $leyes_2$ biológicas deben ser invariantes con respecto a cambios en el marco de referencia". Otra es "Todo proceso biológico se ajusta a alguna(s) ley(es)".

Una ley_1 (o pauta objetiva) biológica es una relación constante entre dos o más propiedades (esenciales) de una entidad biológica. En principio, cualquier pauta

semejante puede conceptualizarse de diferentes maneras, es decir, como leyes$_2$ alternativas. De hecho, la historia de cualquier ciencia avanzada es en gran medida una secuencia de leyes$_2$. Se abriga la esperanza de que cada una de ellas constituya una representación más exacta de la ley$_1$ o pauta objetiva correspondiente, que se supone es constante, en particular, constantemente intacta a nuestros esfuerzos por llegar a ella. De igual modo, la historia de la tecnología es en alguna medida una secuencia de leyes$_3$, o reglas de acción basadas en una ley. Nótese que en principio existen dos leyes$_3$ por cada ley$_2$: una para conseguir algo y otra para evitarlo. Así, una ley$_2$ de la forma "Si *A*, entonces *B*" es la base de dos reglas basadas en ley: "A fin de obtener *B*, hacer *A*" y "A fin de impedir *B*, abstenerse de hacer *A*". Nótese también que, como las reglas son preceptos para hacer algo, ellas –a diferencia de los enunciados legales– no describen, explican o predicen: prescriben. De esta manera, los enunciados legales estadísticos, como el esquema "el 70% de todos los *x* posee la propiedad *y*" no deberían llamarse 'reglas'.

Ya que los enunciados legales a veces se conciben como prohibiciones (p. ej., Popper, 1959), hacemos hincapié en que se supone que los enunciados legales representan pautas objetivas del ser y el devenir, de manera tal que antes que nada nos dicen qué es y qué es posible. Si sabemos qué es posible, por supuesto podemos *inferir* qué es imposible. En otras palabras, al delimitar el conjunto de los estados y eventos legalmente posibles, *eo ipso* caracterizamos el conjunto de los estados y eventos concebibles pero fácticamente imposibles. Insistimos aún en que como no hay hechos negativos (sección. 1.8.1), se supone que los enunciados científicos (incluyendo las leyes$_2$) se refieren a hechos y no a no-existentes. Por esta razón las leyes$_2$ deberían formularse como afirmaciones, no como prohibiciones o enunciados contrafácticos. Por ejemplo, el principio de exclusión competitiva de la ecología "Dos especies nunca pueden tener exactamente el mismo nicho ecológico" debería enunciarse "Cada especie tiene su propio nicho peculiar". (Esta formulación aún necesita mejorarse: véase sección 5.4.)

En lo que respecta a las leyes$_4$, o leyes de leyes, hay de dos clases: científicas y filosóficas. El primer ejemplo antes ofrecido es del primer tipo: afirma que las leyes$_2$ biológicas deben enunciarse de tal manera que no dependan del marco de referencia (en particular del observador) o del tipo de coordenada elegido. Es un requisito de objetividad. El segundo ejemplo es el principio de legalidad (o de ausencia de milagros) restringido a la biología: es una tesis filosófica (véase postulado 1.4). A diferencia del primero, cuya verdad puede comprobarse con lápiz y papel, el principio de legalidad es irrefutable, aunque extremadamente fértil, ya que anima la búsqueda de pautas. Por la misma razón, socorre al biólogo que pierde las esperanzas de llegar alguna vez a "encontrarle sentido" a sus cifras, es decir, descubrir las pautas a las que se ajustan.

No todas las fórmulas merecen denominarse leyes$_2$ biológicas. Por ejemplo, las regularidades halladas ajustando curvas se denominan *fórmulas empíricas*. También se les puede denominar *cuasileyes*, porque son candidatas a promoción al grado de ley$_2$ efectiva. En ciencia teórica avanzada, una fórmula se denomina *enunciado legal* si es general, sistémica y bien confirmada. Más precisamente,

adoptamos:

DEFINICIÓN 3.9. Un enunciado fáctico es un *enunciado legal* si y sólo si,
(i) es general en algún respecto (p. ej., se cumple para cierto taxón);
(ii) es parte de una teoría (sistema hipotético-deductivo) fáctica; y
(iii) ha sido confirmada satisfactoriamente (por el momento.)

Por ejemplo, las ecuaciones del movimiento en física y las ecuaciones de velocidad de la cinética química son $leyes_2$, al igual que sus consecuencias lógicas. Si una ley_2 aparece entre los postulados de una teoría se la denomina ley_2 *básica* (llamada también a veces *principio*.) En cambio, cualquier consecuencia lógica de enunciados legales básicos y definiciones es una ley_2 *derivada*. Nótese que la distinción básica/derivada es contextual: lo que es un principio en una teoría puede ser un teorema en otra. Por ejemplo, la segunda ley de movimiento de Newton es un teorema en dinámica analítica, y el segundo principio de la termodinámica es una ley en mecánica estadística. La primera es un ejemplo de ley dinámica y la segunda de ley estadística, es decir, referida a un gran agregado de entidades, cada una de las cuales se comporta de manera aproximadamente independiente de las demás. La mayoría de las leyes fisiológicas es del primer tipo, y la mayoría de las leyes en genética de poblaciones es del segundo tipo.

3.6 COMPRENSIÓN

3.6.1 *Explicación*

Tal como toda otra disciplina científica, la biología apunta a *comprender* su tema de estudio. Ahora bien, la comprensión no es una operación de tipo todo-o-nada: viene en varios tipos y grados. Por ejemplo, podemos entender un hecho o constructo con ayuda de la empatía, las metáforas, las analogías o las hipótesis. En cualquiera de sus modalidades entender implica sistematizar, esto es, ajustamos al ítem dado dentro de nuestro marco cognitivo o epistémico preexistente, o bien transformamos (p. ej., expandimos) a este último para acomodar el nuevo ítem. Al hacerlo, nuestro marco epistémico no necesita ser fáctico o científico. Podemos, por ejemplo, entender las aventuras de entidades ficticias tales como Don Quijote o Supermán. Después de todo, la comprensión es una categoría *psicológica*, no metodológica.

Obviamente, aquí sólo estamos interesados en una modalidad de comprensión especial y bastante reciente en términos históricos: la comprensión por medios científicos. Como la comprensión viene en grados, así también la comprensión científica. De esta manera podemos analizar tres operaciones epistémicas: descripción, subsunción y explicación propiamente dicha (Bunge, 1967b, 1983b).

3.6.1.1 Descripción

Desde un punto de vista lógico, una *descripción* o *narrativa* es un conjunto ordenado de enunciados fácticos. Por ejemplo, "Esta cápsula de Petri que inicialmente contiene una bacteria de la especie *A*, luego de 20 minutos contiene 2 bacterias, 4 al cabo de 40 y 8 después de una hora". Dada esta sola descripción, esto es, sin hacer uso de más conocimiento tácito, podemos entender que alguna multiplicación parece tener lugar en la cápsula de Petri, pero no sabemos por qué sólo hay 8 bacterias al cabo de 1 hora. Sólo más datos e hipótesis pueden responder la pregunta de por qué.

3.6.1.2 Subsunción

Al investigar el tema más a fondo, contamos y muestreamos la población una que otra vez y producimos una tabla o gráfico de población contra tiempo. Supongamos que encontramos que el patrón de crecimiento es 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, etc., a intervalos de 20 minutos. Ahora, esto da cuenta del hecho a entender, por ejemplo, el aumento ocho veces del tamaño poblacional en 1 hora, porque lo reconocemos como el cuarto miembro de la secuencia. Podemos decir que el hecho ha sido subsumido bajo una pauta general, "La población dada de bacterias de una especie *A* se duplica cada 20 minutos ". En otras palabras, hemos convertido el hecho a explicar en un caso particular de un enunciado legal.

La inferencia fue la siguiente:

Premisa 1. Para todo *x* y todo *t*, si *x* denota una población de bacterias de la especie *A* en la condición *B*, entonces la población *x* a (*t* + 20) min es el doble de la población *x* a *t*. (En general, $N_t = N_0 2^t$, donde N_0 es la población inicial y *t* es el número de períodos de 20 min.)
Premisa 2. *b* a *t* = 0 es una población de N_0 bacterias de la especie *A* en la condición *B*.
Conclusión. *b* a *t* = 60 min es una población de $N_3 = 8N_0$ bacterias de la especie *A* en la condición *B*.

Una *subsunción* es también, entonces, un conjunto ordenado de enunciados, pero uno tal que el último se sigue de los precedentes. Generalizando, el esquema básico de subsunción es éste:

Pauta	Para todo *x*, si *Px* entonces *Qx* [es decir, $\forall x\,(Px \Rightarrow Qx)$]
Circunstancia	*Pb*
Hecho dado	*Qb*

El enunciado fáctico que se refiere al hecho dado a explicar se denomina usualmente *explanandum*, y las premisas explicativas, *explanans*.

A veces, especialmente en biología, la pauta que aparece en una subsunción es meramente un enunciado sistemático o clasificatorio. Por ejemplo, el hecho de que el organismo *b* posee un cierto rasgo puede "explicarse" en términos de su

pertenencia a cierto taxón sistemático. Por ejemplo, la inferencia deductiva puede ser:

Premisa 1. Todos los mamíferos poseen una articulación escamoso-dentaria.
Premisa 2. *b* es un mamífero.
Conclusión. *b* posee una articulación escamoso-dentaria.

Aunque ésta es una inferencia lógicamente válida, no tiene poder explicativo, dado que el rasgo "poseer una articulación escamoso-dentaria" ha sido usado para definir "mamífero" en primer lugar. Más sobre esto en la sección 7.2.2.5.

La subsunción es considerada a veces un enfoque "descendente" (Kitcher, 1989b; Salmon, 1989). Creemos que ésta es una denominación engañosa porque la subsunción no involucra varios niveles de organización. En una subsunción no "explicamos" algún aspecto de una entidad de nivel superior mediante referencia a algunas entidades de nivel inferior, esto es, partes del sistema de nivel superior. En otras palabras, la subsunción es un enfoque en el mismo nivel. Todo lo que está en juego es una demostración de que algún hecho es un caso especial de una pauta general. No vemos razón para denominar 'enfoque descendente' a una deducción, como tampoco consideramos a una inducción un "enfoque ascendente". (Para explicaciones ascendentes y descendentes genuinas, véase sección 3.6.1.4.)

3.6.1.3 Explicación propiamente dicha

La subsunción nos permite entender un hecho dado como un caso particular de una pauta general. Sin embargo, aún no entendemos la pauta misma, y por lo tanto el hecho a explicar sigue comprendido a medias. Se nos dice *cómo* son las cosas, no *por qué* deben ser de la manera que son. Volviendo a nuestro ejemplo microbiológico, debemos recordar que, desde un punto de vista lógico, las bacterias podrían crecer de muchas maneras diferentes, o de ninguna. Sin embargo, la citología y la microbiología revelan que las poblaciones bacterianas crecen por división. En nuestro ejemplo, cada bacteria de la especie *A* se divide al cabo de 20 minutos, de manera que la bacteria original ha sido reemplazada por cuatro, y así sucesivamente. Éste es, pues, el mecanismo de crecimiento en el caso de poblaciones bacterianas: división celular. (Recordamos que éste no es un mecanismo causal ni mecánico.) Hemos llegado a una *explicación* propiamente dicha; hemos dado cuenta de él de manera *mecanísmica*.

La reconstrucción lógica del proceso de explicación es ésta. Partiendo de la observación y cronometraje de la división celular hipotetizamos (y verificamos) la ley de crecimiento, esto es $N_t = N_0 2^t$. El resto sigue tal como en el caso de la subsunción.

La diferencia entre subsunción y explicación no es lógica, porque ambas son deducciones que parten de enunciados que se refieren a regularidades y circunstancias, en particular enunciados legales y datos. La diferencia es otra. La subsunción sólo responde preguntas de "cómo", la explicación preguntas acerca de "có-

mo", o "por qué". Ambas respuestas se dan en términos de pautas tales como tendencias, generalizaciones empíricas o enunciados legales: se demuestra que el hecho del que se ha de dar cuenta es un caso particular de tal pauta. Pero mientras que en el caso de la subsunción no se da cuenta del patrón, en el de la explicación hay una hipótesis o teoría mecanísmica.

La pauta básica de la subsunción era:

(i) Para todo *x*: si *Px* entonces *Qx*; *Pb* ∴ *Qb*.

La pauta correspondiente a la explicación es:

(ii) Para todo *x*: si *Px* entonces *Mx*; Para todo *x*: si *Mx* entonces *Qx*, *Pb* ∴ *Qb*,

donde '*M*' simboliza algún mecanismo tal como la división celular. (Por ejemplo, la primera premisa podría ser "Para todo *x*, si *x* es una bacteria, entonces *x* se reproduce por división celular" y la segunda "Si *x* se reproduce por división celular, entonces la descendencia de *x* crece geométricamente".) Ahora bien, las dos premisas generales de (ii) de manera conjunta traen como consecuencia la premisa general de (i).

Los fenomenistas y convencionalistas podrían decir que esto demuestra que *M* es prescindible. Un realista, sin embargo, concluye en lugar de eso que *la explicación subsume a la subsunción*, lógica, epistemológica y ontológicamente: lógicamente porque toda explicación es una subsunción pero no a la inversa; epistemológicamente porque la explicación presupone más conocimiento que la subsunción; y ontológicamente porque la explicación se sumerge de manera más profunda en el tema que la subsunción al apuntar a algún mecanismo (conjeturado o establecido, perceptible o imperceptible.) En otras palabras, la empresa de la explicación es la de conocer niveles de la realidad cada vez más profundos. En consecuencia, al igual que las hipótesis y teorías, las explicaciones vienen en varias *profundidades*: una explicación E_1 es *más profunda* que una explicación E_2 si y sólo si E_1 involucra más niveles del sistema que E_2. (Para el concepto de nivel, véase sección 5.3.)

Como *mecanísmico* es un neologismo, estarán bien algunas observaciones. Descartes y sus seguidores requerían que todos los mecanismos fueran estrictamente mecánicos. La física de campos, la biología evolutiva y otros desarrollos científicos han relajado esta condición. Hoy entendemos que los mecanismos –procesos en cosas– no tienen por qué ser mecánicos o mecanísticos: pueden ser físicos, químicos, biológicos, psicológicos, sociales o mixtos. Pueden ser naturales o artificiales, causales o estocásticos, o una combinación de ambos. La única condición para que un mecanismo sea tomado en serio en ciencia moderna es que sea material, legal y escrutable (en vez de inmaterial, milagroso y oculto.) En resumen, no debemos confundir 'mecanísmico' con 'mecanístico'.

Hemos denominado 'subsunción' a lo que la mayoría de los filósofos llama 'explicación'. El desarrollo clásico de esta operación es el de Hempel y Oppenheim (1948), usualmente denominado *modelo deductivo-nomológico de la explicación*, o en

forma resumida *modelo D-N*, que ha sido criticado en varios aspectos desde sus comienzos. (Véase también Hempel, 1965; para una [algo sesgada] historia de la noción de explicación científica, véase Salmon, 1989.) Tomemos nota sólo de dos críticas. La primera es que el modelo D-N concierne únicamente a los aspectos lógicos de la explicación. Sin embargo, como afirmamos antes, la explicación también involucra aspectos extralógicos, en particular epistemológicos y ontológicos. Así, deberíamos evitar explicaciones en contextos abiertos; es decir, las premisas explicativas no deben ser conjeturas erráticas sino que deberían pertenecer a teorías (sistemas hipotético-deductivos.) La segunda desventaja es que concierne a la subsunción teórica, no a la explicación genuina. Sostenemos que una explicación genuina es la que invoca algún mecanismo u otro, ya sea causal o estocástico (probabilístico).

Para ser considerada científica, una explicación debe satisfacer tres condiciones: (a) *lógica*: debe ser un argumento válido (no falaz); (b) *semántica*: al menos una de sus premisas debe referirse a algún mecanismo u otro; (c) *metodológica*: sus premisas y conclusión(es) deben ser testeables, y de preferencia razonablemente verdaderas. Otro desiderátum es que la(s) generalización(es) del *explanans* no sea(n) de carácter omniexplicativo, esto es, no deberían proponerse explicar casi cualquier hecho. Ejemplo de hipótesis omniexplicativa es una que recurre a la voluntad de Dios, como es el caso de las "explicaciones" creacionistas (véase, p. ej., Mahner, 1989; Sober, 1993.) *Dictum de omni, dictum de nullo*.

Para terminar, podemos decir que la explicación es un proceso epistémico que involucra tres componentes: (a) un explicador o animal que hace la explicación; (b) el o los objetos de la explicación, es decir, lo que se está explicando; (c) las premisas explicativas o *explanans*. Todos los explicadores que conocemos son seres humanos. Si se dice que una hipótesis o una teoría explican tales y cuales hechos, es una elipsis. Sólo un sujeto cognoscente es capaz de explicar hechos con ayuda de una teoría y datos. Los objetos de la explicación son hechos; y las premisas explicativas son las hipótesis y los datos involucrados en la explicación.

Desde un punto de vista histórico podría resultar interesante notar que, aunque la presente distinción entre subsunción y explicación mecanísmica fue introducida por el mayor de los autores en 1967 (Bunge, 1967b), ha resurgido bajo el nombre de 'concepción óntica de la explicación' (véase, p. ej., Salmon, 1989: 182ss).

3.6.1.4 Tipos de explicación

En la literatura científico-filosófica se han descrito de manera acertada o errónea varios tipos de explicación. Examinemos los más comunes.

Explicación estadística. Ocasionalmente (p. ej., Hempel, 1965) se cree que las siguientes pautas de inferencia constituyen una explicación estadística:

Casi todo *A* es un *B*.	*f*% de los *A* son *B*.
c es un *A*.	*c* es un *A*.
lo más probable es que *c* sea un *B*.	La probabilidad de que *c* sea un *B* es *f*

Ninguna de éstas es una explicación estadística o probabilística. La razón es que no puede deducirse un enunciado probabílistico a partir de una generalización empírica y un enunciado singular, porque el concepto de probabilidad no aparece en las premisas. Así, ambos argumentos son inválidos. En el mejor de los casos, esta inferencia es un silogismo inductivo estadístico de acuerdo con la regla: trátese de conjeturar una probabilidad (una propiedad individual) a partir de una frecuencia observada (una propiedad colectiva.) Otro abuso del concepto de probabilidad se presenta cuando se afirma que en tal argumento la conclusión se seguiría de las premisas con una cierta probabilidad. Ello sólo tiene sentido desde una interpretación subjetivista de la probabilidad. La plausibilidad de un argumento inductivo no tiene nada que ver con la probabilidad (recuérdese sección 1.10.2.3).

Sólo puede alcanzarse una genuina explicación estadística o probabilística si una de las premisas es un enunciado legal estadístico o probabilístico. Por ejemplo, el hecho de que (aproximadamente) la mitad de los bebés recién nacidos son varones o niñas, respectivamente, puede explicarse (parcialmente) con ayuda del enunciado legal probabilístico: "Las probabilidades de formación de un cigoto XX y un cigoto XY son aproximadamente iguales, de aproximadamente 0.5." El enunciado legal estadístico correspondiente podría ser: "Aproximadamente la mitad de los cigotos en una población grande son de tipo XX y la otra mitad es del tipo XY". (Para mayor simplicidad sólo nos referiremos al sexo genético y no consideraremos complicaciones tales como tipos XO o XYY, o eventos del desarrollo que puedan resultar en una proporción de sexos desviada, o en machos XX o hembras XY, o lo que fuere.) Éstas y otras premisas traen aparejada la conclusión, es decir, el enunciado sobre la proporción de sexos de los bebés, deductivamente. Esto es, el enunciado *explanandum* se sigue con certeza y no con un cierto grado de probabilidad. Tampoco tiene sentido decir que si *c* es un bebé la probabilidad de que sea una niña sería 0.5, ya que un bebé es niño o niña —hermafroditas aparte. El azar, y por lo tanto el uso legítimo del concepto de probabilidad, estuvo (presumiblemente) involucrado cuando los espermatozoides X e Y se encontraban camino del óvulo. Una vez que se unieron para formar un cigoto (viable), ya el azar, y en consecuencia la probabilidad, no puede tener que ver con el sexo genético del bebé. (Por supuesto, el sexo fenotípico o género es otra cuestión.) El uso, o mejor dicho abuso, de la idea de probabilidad en casos como éste se refiere a nuestra expectativa antes de encontrarnos con un niño o una niña cuando, por ejemplo, esperamos frente a la sala de partos. Nuevamente, esto supone una interpretación de la probabilidad subjetivista y en consecuencia ilegítima (recuérdese sección 1.10.4).

Explicación (subsunción) ascendente y descendente. A fin de elucidar los términos 'as-

cendente' (o 'desde abajo') y 'descendente' (o 'desde arriba') necesitamos recordar las nociones de macrohecho y microhecho de la sección 1.8: Para cualquier sistema *x*, un *macrohecho* es un hecho que ocurre en *x* como un todo, mientras que un *microhecho* es un hecho que ocurre en o a alguna o todas las partes de *x* en un nivel dado.

Ahora podemos decir que una *explicación descendente* (o *microrreductiva*) de un macrohecho es la deducción de la(s) proposición(es) que describe(n) a este último a partir de proposiciones que describen (micro)hechos en componentes del sistema en el cual el macrohecho ocurre. En contraste, una *explicación ascendente* (o *macrorreductiva*) de un microhecho es la deducción de la(s) proposición(es) que describe(n) a este último a partir de proposiciones que describen (macro)hechos que ocurren en el sistema como un todo. Como la biología estudia tanto microhechos como macrohechos, necesitamos microexplicación y macroexplicación, dependiendo de si deseamos explicar macrohechos o microhechos.

Sin embargo, tanto las explicaciones descendentes (o microrreductivas) como las ascendentes (o macrorreductivas) son incompletas. La razón es que en ambos casos comenzamos por suponer que tenemos que habérnoslas con un *sistema* y sus partes. La única diferencia radica en el *problema* en cuestión: en el caso de la microexplicación el problema es explicar el todo por sus partes, mientras que en el caso de la macroexplicación el problema es explicar las partes por referencia al todo. Unos cuantos ejemplos ayudarán a aclarar este punto.

Comencemos con algunos ejemplos de presuntos triunfos de la microrreducción. Aunque se dice que el ferromagnetismo queda explicado en términos de la alineación de spins atómicos y sus momentos magnéticos asociados, se comienza por asumir que se está lidiando con un macroobjeto tal como un trozo de acero. Aunque la genética explica la herencia en términos de moléculas de ADN, se asume que éstas son componentes celulares y, más aún, componentes de uno de los subsistemas regulatorios de la célula. Aunque la psicología fisiológica explica el aprendizaje en términos del refuerzo de conexiones interneuronales, comienza por considerar un gran sistema de neuronas. En consecuencia, ninguno de estos ejemplos es un caso de microrreducción pura.

El caso de macrorreducción o explicación ascendente es análogo. Por ejemplo, el comportamiento de una molécula en un líquido depende de si se encuentra o no en la superficie. La función de un gen depende de su posición en el cromosoma. Los papeles de los animales sociales dentro de su grupo dependen de su lugar (p. ej., su rango) en el grupo mismo. Ninguno de estos ejemplos es un caso de macrorreducción pura.

En suma, como tanto la macrorreducción como la microrreducción son necesarias pero ninguna es completamente satisfactoria, debemos tratar de combinarlas. Desde un punto de vista sistémico, una explicación satisfactoria de cualquier hecho involucra dos o más niveles: al menos el del sistema o totalidad y el de los componentes o partes. Y en adición a los componentes del sistema, toma en cuenta al ambiente y la estructura del sistema. En otras palabras, analiza cualquier sistema en términos de un modelo CES, como se introdujo en la sección 1.7.2. A una

explicación que involucra todo esto la llamamos *explicación sistémica*. Ésta combina y subsume tanto a la explicación ascendente como a la descendente. En la explicación descendente, el *explanandum* concierne a un sistema, y las premisas *explanans* se refieren a la composición y estructura del sistema. En la explicación ascendente, el *explanandum* se refiere a los componentes del sistema mientras que las premisas *explanans* se refieren a la estructura o el entorno del sistema.

Explicación narrativa. Como la biología evolutiva trata (en parte) con eventos históricamente únicos, se ha afirmado que las explicaciones evolutivas no se ajustan al modelo D-N de la explicación científica (subsunción.) Mejor dicho, las explicaciones en biología evolutiva serían narraciones históricas, es decir, las llamadas explicaciones narrativas (Goudge, 1961; Mayr, 1982.) Luego de la crítica inicial (Ruse, 1971), esta interpretación volvió a relucir en la estela de la metafísica de "entidades históricas" en filosofía de la biología (Hull, 1989).

En la medida en que la llamada explicación narrativa sólo lleva una *crónica* de eventos y procesos históricos, es una descripción y no una explicación propiamente dicha. En verdad "las narrativas históricas son vistas como descripciones de entidades históricas mientras persisten a través del tiempo" (Hull 1989, p. 181.) Como las descripciones ocurren en todas las disciplinas científicas, la existencia de tales descripciones no constituye un caso de diferencia metodológica entre disciplinas biológicas y no biológicas. Sólo sería tal si estuvieran acompañadas por la afirmación de que en biología evolutiva no aparecen subsunciones o explicaciones de ningún tipo, pero esta tesis es claramente errónea.

Vistas más de cerca, muchas explicaciones narrativas no son puramente descriptivas, ya que implican tácitamente o invocan explícitamente leyes, causas y mecanismos, aunque no se enuncien en la forma de argumentos nomológico-deductivos. (Véanse también Ruse, 1973; M.B. Williams, 1986.) Por ejemplo, las explicaciones narrativas a menudo conjeturan algún escenario adaptativo. Sin embargo, el uso de la noción de adaptación implica la aplicación de la teoría de la selección natural, que a su vez se refiere a mecanismos (generales) de evolución. Es más, la referencia a mecanismos y causas, tanto en nuestro sentido estricto como en el amplio, presupone la existencia de leyes, aunque puede que no se haga referencia explícita a ellas en la narrativa. (Véase también M.B. Williams, 1986.. Por ejemplo, una explicación narrativa de —con perdón de la expresión metafísicamente mal formada— el carácter vestigial de los ojos en los miembros de algunas especies cavernícolas puede involucrar el enunciado legal "los órganos que ya no se usen se reducirán", que se cumple a condición de que el órgano en cuestión no esté correlacionado genéticamente ni por desarrollo con otro rasgo con valor selectivo positivo. El grado de reducción es entonces un indicador del tiempo evolutivo transcurrido o del grado de correlación con otros rasgos todavía adaptativos.

En suma, mientras que algunas narrativas históricas pueden no ser sino descripciones, otras (o al menos ciertas partes de ellas) deberían ser enunciables como subsunciones y explicaciones propiamente dichas. Así, la ocurrencia de narraciones

históricas no vuelve a la biología metodológicamente única. (Véanse también Ruse, 1971, 1973; Hull, 1974; Rosenberg, 1985; van der Steen y Kamminga, 1991.)

3.6.2 *Predicción*

Las predicciones son inferencias de lo conocido en lo desconocido. Por ejemplo, ¿qué podemos concluir del conocimiento de que (a) la estricnina en la dosis d es letal y (b) el individuo b tomó una dosis d de estricnina? Por supuesto, podemos concluir que el individuo b morirá. Como este argumento puede expresarse en la forma "Para todo x: Si Px entonces Qx, Pb $\therefore$ Qb", tiene la misma estructura lógica que una explicación del tipo subsunción (véase sección 3.6.1.2). En verdad, no hay diferencia lógica entre una predicción científica y una subsunción: ambas son deducciones a partir de generalizaciones (en particular, enunciados legales) y enunciados singulares (datos o "circunstancias".) Por analogía con los términos *explanans* y *explanandum*, llamaremos *projectans* a las premisas de un argumento predictivo, y *projectandum* a la conclusión, es decir, el pronóstico.

Las diferencias entre una predicción y una explicación subsuntiva no son lógicas sino extralógicas. Primero, en una subsunción comenzamos con el *explanandum* y buscamos el *explanans*. En cambio, en una predicción se dispone del *projectans* mientras lo que se busca es el *projectandum*. Segundo, en vez de referirse a una circunstancia o a una condición, la premisa singular en una predicción puede referirse (sólo) a un indicador (o síntoma.) Piénsese en el famoso ejemplo del barómetro: una caída en la lectura del barómetro nos permite predecir un cambio climático sin que sea una condición de él, mucho menos una causa. Más aún, a diferencia de las explicaciones propiamente dichas, los pronósticos no tienen por qué invocar mecanismo alguno. Por ejemplo, la regularidad que aparece entre (los referentes de) las premisas de un pronóstico científico pueden ser de tipo caja negra (tal como la relación entrada/salida en el ejemplo de la estricnina) o incluso una tendencia o correlación estadística. Tercero, el *projectandum* es siempre un enunciado singular, nunca una generalización o enunciado legal.

Al ser enunciados singulares, los *projectanda* son casos especiales de descripciones. Describen antes que nada hechos *desconocidos*. Si esos hechos son pasados, presentes o futuros o si son reales o solamente posibles resulta irrelevante desde un punto de vista metodológico (aunque, por supuesto, no desde un punto de vista pragmático.) La importancia de las predicciones para el metodólogo consiste en que proveen la última comprobación de las hipótesis y teorías fácticas. Los términos 'predicción' y 'pronóstico' son por lo tanto engañosos porque etimológicamente sugieren una referencia a eventos futuros. Sin embargo, un *projectandum* puede referirse a hechos pasados, en cuyo caso hablamos de *retrodicción* (o *posdicción*) o *retrognóstico*. (El término 'predicción' en sentido amplio subsume tanto a la predicción propiamente dicha como a la retrodicción.)

Las predicciones científicas pueden ser empíricas o teóricas. Los pronósticos *empíricos* (p. ej., estadísticos) están basados en correlaciones no explicadas. Por

ejemplo, si hemos encontrado que *X* está altamente correlacionado con *Y*, entonces cada vez que encontremos *X* podemos esperar encontrar también *Y*, con tal que la correlación no sea espuria. En cambio, las predicciones *teóricas* sí involucran el conocimiento de leyes. Esto es, la premisa general en el *projectans* es un enunciado legal, no una generalización empírica. Desde un punto de vista metodológico, el pronóstico teórico es superior en principio a la predicción empírica porque las $leyes_2$ pertenecen a teorías y son más profundas que las correlaciones. En la práctica, sin embargo, una predicción teórica puede ser menos eficiente que un pronóstico empírico si se basa en datos incompletos o inexactos.

Hasta fechas recientes, éste era el caso con los pronósticos meteorológicos: las generalizaciones empíricas ("reglas del pulgar") funcionaban mejor que los modelos teóricos. A medida que los últimos se volvían más sofisticados y los satélites suministraban datos más exactos, los pronósticos meteorológicos científicos se volvieron más precisos. Aún así, los pronósticos globales a largo plazo son mucho más precisos que la predicción local a corto plazo. Esto puede ser así porque la turbulencia atmosférica local es "caótica" y, como consecuencia, hasta una leve perturbación puede resultar en un gran cambio impredecible. En cambio, si un proceso es estocástico y conocemos su ley probabilística deberíamos ser capaces de asignar una probabilidad definida a cada futuro posible. (Deberíamos además ser capaces de predecir medias y varianzas.) En contraste, si el proceso es caótico en el sentido de la dinámica no lineal, puede ocurrir una ramificación, pero como las leyes subyacentes no son estocásticas no existe forma de asignar una probabilidad a cada rama. (Deberíamos subrayar, de paso, que la predictibilidad es una categoría epistemológica, de manera tal que no se debe definir un sistema "caótico" esto es, una categoría ontológica, en términos de impredictibilidad. Véase sección 5.5.3.)

Lo que vale para la predicción propiamente dicha no necesariamente se cumple para la retrodicción. En realidad, en el caso de un proceso irreversible que se está acercando a un estado de equilibrio, el mismo estado final puede haber sido alcanzado partiendo de diferentes estados iniciales. Así, en este caso, la retrodicción será imposible mientras que la predicción será posible, porque todas o casi todas las trayectorias convergerán a un solo estado.

Para terminar, mientras que podemos sostener la tesis optimista de que todos los hechos pueden explicarse, si no ahora más tarde, no podemos sostener la fe en la predictibilidad de todo. Así, aunque la predicción es *una* marca de la ciencia no es ni su única peculiaridad ni una característica de todas y cada una de sus mínimas partes.

3.6.3 *Unificación*

La comprensión científica es provista no sólo por la descripción, la subsunción, la explicación y la predicción, sino también por la unificación. Por ejemplo, como el material genético fue identificado con moléculas de ADN, la variación ge-

nética ha sido explicada como un cambio en la composición y la estructura de tales moléculas. Esto es, parte de la genética ha sido reducida a la bioquímica (biología molecular.) Sin embargo la reducción no es la única clave para la comprensión: a veces lo es la integración. Por ejemplo, la evolución biótica no resulta comprensible en el nivel molecular solamente, sino que exige una fusión de la genética (tanto molecular como poblacional), la morfología, la sistemática, la paleontología, la biogeografía, la ecología y la biología del desarrollo, o sea, en realidad casi todas las ramas de la biología. En suma, la unificación es traída por la reducción o por la integración (Bunge, 1983a, 1991a, b; Bechtel, ed., 1986).

3.6.3.1 Reducción

La reducción es un tipo de análisis (es decir, una operación epistémica) que se relaciona con conceptos, proposiciones, explicaciones o teorías, o sus referentes. Se conjetura o demuestra que el objeto reducido depende de algún otro con prioridad lógica u ontológica sobre él. Si *A* y *B* son ambos constructos o entidades concretas, reducir *A* a *B* equivale a identificar a *A* con *B*, o incluir a *A* en *B*, o aseverar que todo *A* es un agregado, combinación o promedio de *B*, o bien una manifestación o imagen de *B*. Es afirmar que aunque *A* y *B* parecen muy diferentes uno de otro en realidad son lo mismo, o que *A* es una especie del género *B*, o que todo *A* en alguna manera resulta de *B* —o, planteado más vagamente— que *A* "se reduce" a *B* o que "en el último análisis" todos los *A* son *B*.

Los siguientes son ejemplos de reducción, justificada o no, en el campo de la ciencia básica. Los cuerpos celestiales son cuerpos ordinarios que satisfacen las leyes de la mecánica; el calor es movimiento molecular al azar; las reacciones químicas son dispersiones inelásticas de átomos o moléculas; los procesos vitales son complejas combinaciones de procesos químicos; los seres humanos son animales; los procesos mentales son procesos cerebrales y los hechos sociales resultan de acciones individuales, o a la inversa.

Comencemos por la reducción *conceptual*. Reducir un concepto *A* a *B* es definir *A* en términos de *B*, donde *B* se refiere a una cosa, propiedad o proceso en el mismo nivel o en uno más bajo (o más alto) que el de los referentes de *A*. Tal definición puede denominarse *definición reductiva*. Por ejemplo, una definición reductiva reduce el concepto de calor (en termodinámica) al concepto de movimiento molecular azaroso (en mecánica estadística). En otras palabras, una definición reductiva es una que identifica conceptos que anteriormente se habían tratado por separado. Ésta es, incidentalmente, la razón por la cual las definiciones reductivas son denominadas usualmente 'fórmulas puente' o 'principios puente' en la literatura filosófica. También se les llama 'hipótesis puente' (Nagel, 1961), porque a menudo son propuestas originalmente como hipótesis.

Podemos distinguir tres tipos de definición reductiva de un concepto: (a) del *mismo nivel*, o $L_n \rightarrow L_n$; (b) *descendente*, o $L_n \rightarrow L_{n-1}$ o *microrreductiva*, y (c) *ascendente*, o $L_n \rightarrow L_{n+1}$, o *macrorreductiva*. Ejemplo de la primera ($L_n \rightarrow L_n$): "Luz $=_{df}$ Radiación electromagnética". Ejemplos de la segunda ($L_n \rightarrow L_{n-1}$): "Calor $=_{df}$ mo-

vimiento atómico o molecular aleatorio", "Mutación genética $=_{df}$ Cambio en la estructura de una molécula de ADN". (Este tipo de reducción de hecho ha permitido a los genetistas distinguir mutaciones genéticas de varios tipos, tales como mutaciones de sustitución, mutaciones de desplazamiento de marco, etc.) Ejemplo de la tercera ($L_n \rightarrow L_{n+1}$): "Animal alfa $=_{df}$ El animal que ocupa el máximo rango en un grupo de coespecíficos".

La reducción de una *proposición* resulta de reemplazar al menos uno de los predicados que aparecen en ella con el *definiens* de una definición reductiva. Por ejemplo la proposición "Los organismos heredan material genético" es reducible a "Los organismos heredan moléculas de ADN", en virtud de la definición reductiva "Material genético $=_{df}$ Agregado de moléculas de ADN". Se dice que la proposición dada ha sido reducida. Mientras que los valores de verdad se conservan bajo estas transformaciones, no así los significados, porque son contextuales.

El análisis de la reducción de una *teoría* es algo más complejo. Para empezar, distinguimos reducción de restricción. Así proponemos:

DEFINICIÓN 3.10. Designe T_1 a una teoría con clase de referencia $\mathcal{R}$. Entonces una teoría T_2 es la *restricción* de T_1 a $\mathcal{S}$, sonde $\mathcal{S} \subset \mathcal{R}$, si y sólo si T_2 es una subteoría de T_1 y se refiere sólo a los miembros de $\mathcal{S}$.

Por ejemplo, la mecánica de partículas es una subteoría de la mecánica clásica (Bunge, 1967c; para el concepto de subteoría recuérdese sección 3.5.3.2.)

A diferencia de la restricción de teorías, la reducción de teorías involucra definiciones reductivas que actúan como puentes entre la teoría nueva (o reductora) y la antigua (o reducida.) Por ejemplo, la óptica geométrica es reducible a la óptica ondulatoria mediante la definición reductiva: "Rayo de luz $=_{df}$ Frente de onda normal a la luz". Diremos que éste es un caso de reducción *fuerte*. Sin embargo, la reducción también puede involucrar supuestos adicionales no contenidos en la teoría reductora. Por ejemplo, la teoría cinética de los gases es reducible a la mecánica de partículas, enriqueciéndola con las definiciones reductivas de los conceptos de presión y temperatura, y con la hipótesis subsidiaria de caos molecular (o distribuciones iniciales aleatorias de posición y velocidad.) Llamaremos a éste un ejemplo de reducción *débil* o *parcial*. Más precisamente formulamos:

DEFINICIÓN 3.11. Designen T_1 y T_2 a dos teorías con clases de referencia parcialmente superpuestas, D un conjunto de definiciones reductivas y A un conjunto de hipótesis subsidiarias no contenidas en T_1 o T_2. Entonces decimos que

(i) T_2 es *totalmente* (o *fuertemente*) reductible a $T_1 =_{df} T_2$ se sigue lógicamente de la unión de T_1 y D;

(ii) T_2 es parcialmente (o débilmente) reductible a $T_1 =_{df} T_2$ se sigue lógicamente de la unión de T_1, D y A.

(Para el tratamiento clásico de la reducción véase Nagel, 1961. Para estudios posteriores véase, p. ej., Bunge, 1977b, 1983b, 1991a; Causey, 1977.)

En la filosofía de la biología todavía es motivo de polémica si la biología es reducible a la química o aún a la física, o si es una ciencia de pleno derecho (p. ej., Ayala, 1968; Simon, 1971; Mayr, 1982; Rosenberg, 1985, 1994.) Por ejemplo, el descubrimiento de que el material genético consiste de moléculas de ADN a veces se considera una prueba de que la genética ha sido reducida a la química (Schaffner 1969.) Sin embargo, la química sólo da cuenta de la química del ADN: nada nos dice sobre todas las funciones y roles biológicos del ADN, por ejemplo, su rol en la morfogénesis. Esto es, la química no puede dar cuenta de las funciones y roles del ADN en una célula viva, porque el concepto de célula viva es ajeno a la química. Afirmaciones semejantes pueden hacerse en otros casos (véase también Beckner, 1959.) Así, cuando Schaffner (*op. cit.*:346) admite que, a fin de dar cuenta de los seres vivos se necesita no sólo la química sino también considerar la estructura (organización) y entorno del organismo, entonces no se alcanzó la reducción total de la biología a la química. En resumen, la biología es como máximo débilmente reductible a la química, la que a su vez es sólo débilmente reductible a la física (Bunge, 1982, 1985a). Es más, ni siquiera las teorías dentro de la física son reductibles a una teoría "básica", tal como la teoría cuántica (Bunge, 1973b, 1983b, 1991a). Incluso la teoría cuántica contiene algunos conceptos clásicos (p. ej., los de masa y tiempo), así como hipótesis sobre fronteras macrofísicas, de manera que no efectúa una microrreducción completa. Si esto vale para los electrones, debe valer, *a fortiori*, para los organismos. (Para más sobre la reducción en biología véanse Kitcher, 1984b; Rosenberg, 1985, 1994; Hoyningen-Huene y Wuketits, eds., 1989; Gasper, 1992.) De igual modo, la psicología y las ciencias sociales sólo son débilmente (parcialmente) reductibles a las correspondientes disciplinas de nivel inferior.

3.6.3.2 Reduccionismo

Mientras que la reducción es una operación epistémica, el *reduccionismo* –o mejor dicho el *microrreduccionismo*– es una estrategia de investigación: la adopción del principio metodológico según el cual la (micro)rreducción es en todos los casos necesaria y suficiente para dar cuenta de las totalidades y sus propiedades. Los compañeros ontológicos del microrreduccionismo son el fisicalismo y el atomismo (o individualismo.) De acuerdo con el fisicalismo, las cosas difieren sólo en su complejidad, de manera que las totalidades pueden comprenderse enteramente en términos de sus partes. Así, se piensa que todas las ciencias son reducibles a la física, y que tal reducción a la física resultaría en la unidad de la ciencia –uno de los ilusorios programas del positivismo lógico. (Véanse también Causey, 1977; Rosenberg 1994.) Como expondremos en un momento, la unidad de la ciencia sólo puede lograrse mediante una combinación de reducción moderada con integración.

La contrapartida del microrreduccionismo es el macrorreduccionismo, que a menudo se denomina 'antirreduccionismo' (La contraparte ontológica del macrorreduccionismo es el holismo.) La tesis microrreduccionista afirma que conoce-

mos una cosa si descubrimos de qué está "hecha", mientras que la tesis macrorreduccionista es que la conocemos si nos hacemos una idea de su lugar en el "esquema de las cosas" (esto es, el sistema mayor.) Sin embargo, para explicar cómo funcionan los sistemas de cualquier tipo necesitamos combinar la *microrreducción* con la *macrorreducción*. La razón es que un sistema se caracteriza no sólo por su composición sino también por su entorno y estructura (recuérdese sección 1.7.2 y 1.8.1).

Así, recomendamos una estrategia de *reduccionismo moderado*, esto es, la estrategia de reducir lo que se pueda reducir (en forma completa o parcial) sin ignorar la variedad y la emergencia. Más aún, el reduccionismo moderado debe apuntar a dar cuenta de la variedad y la emergencia. Después de todo, la contraparte ontológica del reduccionismo moderado es el materialismo emergentista, de acuerdo con el cual las totalidades tienen propiedades no compartidas por sus componentes pero las cuales, lejos de existir en forma independiente, resultan de los últimos (recuérdese sección 1.7.3). Así, el reduccionismo no está basado en un materialismo metafísico *tout court* –*pace* Rosenberg (1985:72.) Tanto el fisicalismo como nuestra versión del emergentismo pertenecen al materialismo metafísico. Sin embargo, mientras que el materialismo fisicalista se asocia con el reduccionismo radical, el materialismo emergentista sólo puede admitir una forma moderada de reduccionismo. Más aún, la epistemología y la metodología asociadas con el materialismo emergentista apuntan a alcanzar la unidad de la ciencia no sólo a través de la reducción (moderada), sino también de la inter y la multidisciplinariedad, esto es, a través de la integración de teorías y disciplinas que trataremos a continuación.

3.6.3.3 Integración

Las cosas no siempre pueden explicarse mediante la reducción: bastante a menudo sólo se pueden explicar ubicándolas en un contexto más amplio. Por ejemplo, la historia de vida de un organismo individual se explica no sólo en términos de genética, fisiología y biología del desarrollo sino también en términos ecológicos y evolutivos.

Necesitamos la integración de enfoques, datos, hipótesis e incluso campos de investigación enteros no sólo para dar cuenta de aquellas cosas que interactúan fuertemente con los ítems de su entorno. Necesitamos integración epistémica en todas partes porque no existen las cosas perfectamente aisladas, porque toda propiedad está relacionada con otras propiedades y porque toda cosa es o bien un sistema o un componente de algún sistema (recuérdense secciones 1.3.4 y 1.7.1). Así, tal como la variedad de las cosas requiere una multitud de disciplinas, la integración de éstas es necesaria por la unidad del mundo (Bunge, 1983b, 1991b).

Bástenos con analizar brevemente el caso más simple de fusión de dos teorías. Ejemplos de tales amalgamas son la geomet ía analítica (síntesis de geometría sintética y álgebra), mecánica celeste (unión de la mecánica y la teoría de la gravitación), teoría electromagnética (fusión de las teorías de la electricidad y el magne-

tismo) y la teoría sintética de la evolución (unión de la teoría de la selección darwiniana con la genética.) Ahora, no toda unión de dos teorías (o mejor dicho, de sus conjuntos de fórmulas) resulta significativa. Por ejemplo, no resulta ningún conjunto significativo de enunciados (teoría) de unir la genética con la teoría tectónica de placas. Así, las teorías precursoras deben compartir referentes y de esta manera también algunos conceptos específicos (variables, funciones.) Es más, en la vasta mayoría de los casos las teorías precursoras deben suplementarse con fórmulas que conecten los conceptos de ambas teorías y así puedan quedar cementadas. Por ejemplo, las teorías de la electricidad y el magnetismo no podrían haber sido sintetizadas en la teoría electromagnética sin el agregado de la ley de inducción de Faraday y la hipótesis de las corrientes de desplazamiento de Maxwell. Y la teoría sintética de la evolución no sólo requirió de la teoría de la selección y la genética, sino también de fórmulas cemento tales como "Las variaciones fenotípicas son el resultado de cambios génicos".

Resumimos lo precedente en la siguiente:

DEFINICIÓN 3.12. Una teoría T es una *fusión* de las teorías T_1 y T_2 si

(i) T_1 y T_2 comparten algunos referentes y conceptos;

(ii) hay un conjunto G (posiblemente vacío) de fórmulas cemento que relacionan algunos conceptos T_1 con conceptos T_2 ; y

(iii) las fórmulas en G están suficientemente confirmadas.

La condición (i) excluye las teorías que no tienen nada que ver una con la otra. La condición (iii) se agrega porque, en principio, hay una cantidad infinita de posibles fórmulas cemento. Finalmente, nótese la diferencia metodológica entre las fórmulas cemento y las fórmulas reductivas o puente mencionadas en la sección 3.6.3.1: las últimas son definiciones; las primeras, postulados.

La integración se produce no sólo a nivel de teorías, sino también a nivel de disciplinas científicas enteras. Una disciplina que conecta dos o más disciplinas científicas se denomina *interdisciplina*. Más precisamente, una interdisciplina (a) se superpone parcialmente con dos o más disciplinas en la medida en que contiene problemas, referentes, conceptos, hipótesis y métodos que involucran conceptos específicos de las disciplinas dadas, y (b) contiene hipótesis (o posiblemente teorías) que sirven de puente entre las disciplinas originales. Ejemplo de tales interdisciplinas son la biofísica, la bioquímica, la biogeografía, la psicología fisiológica y la neurolingüística. (Más sobre integración e interdisciplinariedad con referencia a las ciencias biológicas en Darden y Maull, 1977, así como Bechtel, ed., 1986.) Es más, el éxito de las interdisciplinas existentes justifica la estipulación de que dos campos de investigación científica cualesquiera pueden ser conectados mediante uno o más campos de investigación. Cada una de estas interdisciplinas exitosas contribuye a cimentar la unidad de la ciencia.

3.7 ENSAYO Y EVIDENCIA

3.7.1 *Algunos principios metodológicos*

En lo precedente, mencionamos ocasionalmente las nociones de indicador, evidencia y ensayo. Al hacerlo, asumimos tácitamente que es característica de la ciencia y la tecnología que todo en ellas se puede comprobar: se supone que cada dato, cada hipótesis y teoría, cada método y artefacto pueden aprobar algún ensayo u otro. Más aún, podemos formular el siguiente principio de *testeabilidad*, que se supone vale para todas las ciencias, ya sean formales o fácticas, básicas o aplicadas, así como para la tecnología y las humanidades modernas:

REGLA 3.1. Debe comprobarse la adecuación (es decir, verdad o eficiencia) de cada dato, hipótesis, técnica, plan y artefacto.

Obviamente, este principio es hostil a cualquier actitud acrítica, como el recurso a la autoridad, la intuición, la autoevidencia, la revelación o la fe ciega. Aclaremos que sería imposible para nosotros ensayar cada proposición, método o artefacto que se cruza en nuestro camino, porque nuestra vida resultaría demasiado corta y nuestros recursos demasiado escasos. Así, la verificación es una tarea social. Esto es, sometemos nuestros hallazgos a la revisión por parte de nuestros pares, y cada vez que tomamos prestado o citamos un resultado obtenido por colegas investigadores lo hacemos en la esperanza de que la nuestra es una fuente autorizada, o sea competente y responsable, y en ella depositamos nuestra confianza. Por eso no podemos, incluso en ciencia, prescindir de un ápice de autoridad. Sin embargo, esta confianza nunca es ciega o inconmovible: hacemos esto sólo a título provisorio, es decir que estamos listos para abandonarlo en el momento en que se demuestre que es incorrecto. En resumen, también debemos adoptar el *principio falibilista*:

REGLA 3.2. Se considerara cada ítem cognitivo –ya sea dato, hipótesis, teoría, técnica o plan– sujeto a revisión; cada comprobación como recomprobable y cada artefacto, imperfecto.

Sin embargo, hay grados de adecuación y por lo tanto de inadecuación: algunas proposiciones son más verdaderas que otras, algunos métodos más exactos o poderosos que otros y algunas revisiones más rigurosas que otras. En consecuencia, podemos abrigar confianza de que en muchos casos, si no siempre, hay lugar para el mejoramiento de nuestro conocimiento y nuestros métodos. Expresaremos esta (indemostrable) creencia optimista en el *principio meliorista*:

POSTULADO 3.6. Todo ítem cognitivo, toda propuesta y todo artefacto que valga la pena perfeccionar pueden seguir siendo mejorados.

La previsión 'que valga la pena perfeccionar' se añade porque puede haber un

punto en el cual mayores inversiones, incluso en ideas, procedimientos y artefactos útiles pueden sobrepasar largamente a sus beneficios.

3.7.2 *Evidencia y testeabilidad*

Como no tenemos acceso directo al mundo, sólo podemos llegar a él mediante la experiencia y la razón. Dejándonos llevar por la metáfora, la experiencia se encuentra en la interfase entre nosotros y nuestro mundo exterior. (Su mundo exterior me incluye a mí, y el mío lo incluye a usted.) La experiencia, es decir, la percepción y la acción, media entre el mundo y nuestras ideas sobre él, suministrándonos materia prima para el razonamiento. La elaboración resultante es un conjunto de ideas tales como imágenes, conceptos, proposiciones, diagramas, modelos y teorías. Comprobamos estas ideas sobre la realidad contrastándolas con datos empíricos, no con el mundo mismo. En particular, no confrontamos una proposición p acerca de los hechos f con f misma, sino con algún dato (o datos) d relevante para f. Podemos hacer esto porque tanto p como d son proposiciones, mientras que f no. (Recuérdese de la sección 3.2.4 que los datos no son hechos, sino que un dato es una proposición particular de la forma "La cosa x está en el estado (o experimenta el proceso) y" y "Hay cosas del tipo K", mientras que un dato empírico es un dato adquirido con la ayuda de operaciones empíricas, tales como observación, medición, experimento, acción o una combinación de éstas.)

Ahora bien, no todos los datos constituyen evidencia en favor o en contra de un ítem epistémico: sólo los datos relevantes pueden serlo. Puede decirse que un dato empírico es *relevante* para un ítem epistémico sólo si se refiere a éste. Si se prefiere, un dato es relevante a una proposición si ambos comparten al menos un predicado. Más aún, las propiedades representadas por los predicados en cuestión deberían posiblemente guardar una relación legal. Por ejemplo, si queremos usar una lectura barométrica como evidencia en favor o en contra de una hipótesis sobre la ocurrencia de cierto proceso climático que involucra presión atmosférica, debe suponerse una relación legal entre las lecturas de un barómetro y la presión atmosférica.

Además, cada dato debe ser "interpretado" como posible evidencia a la luz de algún cuerpo de conocimiento. Por ejemplo, mientras que los practicantes de la farmacopea tradicional china "leen" ciertos dientes fósiles como dientes de dragón, el paleontólogo armado con la teoría de la evolución los ve como restos del simio extinguido *Gigantopithecus*. A veces, sin embargo, semejante interpretación está incorporada en la misma construcción de los instrumentos de medición, o se detalla explícitamente en sus manuales de operación. Así, hemos aprendido a leer la temperatura (y no el tiempo o el peso) en un termómetro. Comprimimos las consideraciones precedentes en la siguiente definición:

DEFINICIÓN 3.13. Un dato empírico e constituye una *evidencia empírica* en favor o en contra de una proposición p si y sólo si,

(i) *e* ha sido adquirido con la ayuda de operaciones empíricas accesibles al escrutinio público;

(ii) *e* y *p* comparten algunos referentes (o predicados);

(iii) *e* ha sido interpretado a la luz de algún cuerpo de conocimientos;

(iv) se asume (correcta o incorrectamente) que existe alguna asociación regular (p. ej., una ley) entre las propiedades representadas por los predicados en *e* y *p*.

En resumen, los datos empíricos refinados y exactos son todo menos informes perceptuales ateóricos. Es más, los datos no pueden encontrarse libres de errores. Tales errores pueden ser aleatorios o bien sistemáticos (esto es, derivados de un sesgo o un diseño experimental defectuoso.) Así, los datos deben ser comprobados en vez de aceptarlos sin miramientos. La nueva batería de observaciones empíricas (de prueba) puede llevarse a cabo con la misma técnica o, de preferencia, con un método alternativo (equivalente o mejor.) Idealmente, esto se realiza mediante operadores independientes a fin de minimizar el sesgo personal. En suma, los científicos no sólo comprueban sus hipótesis por medio de la evidencia, sino que también comprueban la evidencia misma. Así, la comprobación y la recomprobación son la esencia de la ciencia y la tecnología, por lo mismo que son ajenas a la pseudociencia y la pseudotecnología.

Habiendo elucidado la noción de evidencia empírica, estamos listos para proponer algunas definiciones concernientes a la testeabilidad. La primera es:

DEFINICIÓN 3.14. Se dice que una proposición *p* es

(i) *empíricamente confirmable* $=_{df}$ hay evidencia empírica directa o indirecta, actual o potencial, a favor de *p*;

(ii) *empíricamente rechazable* (o "*refutable*") $=_{df}$ hay evidencia empírica directa o indirecta, actual o potencial, en contra de *p*.

DEFINICIÓN 3.15. Se dice que una proposición *p* es

(i) *testeable* $=_{df}$ *p* es sólo confirmable, o bien sólo rechazable;

(ii) *fuertemente testeable* $=_{df}$ *p* es tanto confirmable, como rechazable;

(iii) *intesteable* $=_{df}$ *p* no es confirmable ni rechazable.

Nótense los siguientes puntos. Primero, sólo las proposiciones pueden ser ensayadas en cuanto a su verdad. Los conceptos pueden ponerse a prueba en cuanto a su relevancia y poder, pero no en cuanto a su verdad. Segundo, la contrastabilidad no es un atributo intrínseco de las proposiciones sino relativo a los medios empíricos disponibles o concebibles, porque los datos empíricos son obtenibles por algunos medios pero no por otros. Es más, una proposición se puede verificar mejor mediante datos de un tipo que de otro. Esta contrastabilidad también viene en grados. Por lo tanto, debemos estar preparados para tratar sentencias de la forma 'La contrastabilidad de *p* en relación con el medio *m* es igual a *t*', '*p* es más testeable con el medio *m* que con el *n*', y '*p* es más verificable que *q* con la ayuda de *m*'.

Tercero, hemos reservado lugar para datos potenciales o, lo que es lo mismo, verificabilidad *en principio* junto a la vereficabilidad real. Con mayor frecuencia que el caso contrario, en un determinado momento no poseemos la técnica apropiada para poner a prueba una hipótesis. Cuarto, también incluimos evidencia empírica *indirecta*, esto es, evidencia a través de algún cuerpo de conocimientos intermedio. Por ejemplo, la hipótesis "Los dinosaurios existieron" no es directamente contrastable porque no hay dinosaurios vivientes en la actualidad, sino sólo ciertos huesos fosilizados, huevos y huellas. Sin embargo, la hipótesis, junto con el vasto cuerpo de la morfología comparada, sistemática, biología evolutiva, paleontología y geología, permite interpretar tales datos como evidencia para ella. En otras palabras, siempre que el o los hechos a que una teoría se refiere no resultan directamente observables, recurrimos a algún intermediario, o sea, indicadores o signos diagnósticos. De hecho, la mayoría de las hipótesis y teorías científicas sólo son verificables vía hipótesis indicadoras, porque se refieren a hechos inobservables.

Consideremos ahora lo que puede inferirse a partir de hipótesis indicadoras de la forma *Si U entonces O*, y *Si O entonces U*, donde *O* designa un indicador de la propiedad o hecho inobservable *U*. La primera dice que *U* es suficiente para *O* y necesaria para *U*. Si se asume *U*, *O* se sigue por *modus ponens* ($U \Rightarrow O, U \therefore O$). Aunque válida, esta inferencia no resulta de ayuda, porque queremos tener acceso a *U* a través de *O*, y no a la inversa. Es más, como *U* es suficiente pero no necesario para *O*, este último podría imputarse a un diferente inobservable. Por eso las hipótesis indicadoras de la forma $U \Rightarrow O$ son ambiguas.

Ahora sondeemos las hipótesis indicadoras del segundo tipo, es decir, *Si O entonces U*. Estamos en condiciones de concluir que *U* es el caso si, de hecho, se observa *O*. Sin embargo, para que esta inferencia lógicamente válida sea metodológicamente correcta, para empezar la hipótesis $O \Rightarrow U$ debe haber sido inventada y subsiguientemente confirmada en forma empírica mediante la observación o el experimento, ninguno de los cuales es tarea fácil. La dificultad radica no tanto en la inobservabilidad de *U* como en la circunstancia de que los observables son manifestaciones de inobservables. En consecuencia, lo natural es imaginar y postular *U*, intentando adivinar la consecuencia o la concomitante observable *O*. En otras palabras, el mundo es tal que lo natural es hacer conjeturas de la forma *Si U entonces O*, en vez de *Si O entonces U*. Esto es exactamente lo que los científicos y tecnólogos han venido haciendo desde los atomistas griegos e indios.

Sin embargo, antes de correr a diseñar indicadores o hacer observaciones, para empezar deberíamos discernir si la hipótesis que hay que comprobar es contrastable. Una primera condición necesaria para que una proposición sea empíricamente verificable es que se refiera a hechos de algún tipo, es decir, que debe tener contenido o significado fáctico. Por ejemplo, éste no es el caso de las fórmulas en matemática pura, ya que se refieren a objetos conceptuales y por lo tanto sólo son conceptualmente verificables. Una segunda condición necesaria es que la proposición no sea una verdad lógica (o tautología), porque semejante afirmación se cumple no importa cuál sea el caso. Por ejemplo, el enunciado "El or-

ganismo *x* puesto en el hábitat *y* se adaptará a *y* o morirá" es verdadera bajo toda circunstancia. (Nótese que la afirmación tiene una referencia fáctica. Por lo tanto, los enunciados no tautológicos o sintéticos no deberían ser denominados 'enunciados empíricos [léase: fácticos]' sólo porque su verdad depende de los hechos y no de la forma.) Lo mismo vale para los enunciados analíticos, que son verdaderos por definición, esto es, por el significado de los conceptos involucrados. Por ejemplo, "Cada especie presa tiene al menos un predador" es verdadera por definición, y por lo tanto no necesita ensayo. Una tercera condición de contrastabilidad es que la proposición no contenga una previsión que la vuelva inverificable en tiempo real. Ejemplo de éstas es "en última instancia", "en el último análisis", que aparecen, por ejemplo, en las proposiciones "Todos los rasgos fenotípicos son en última instancia causados por los genes" o "En el último análisis toda conducta es egoísta". Tales proposiciones son inverificables porque no se especifica qué es "en última instancia" o "en el último análisis", y mucho menos quién va a llevar a cabo el último análisis o cuándo. A primera vista, la condición *ceteris paribus* (con las otras cosas igual) parecería desempeñar una función similar. Es más, le permite a uno fraguar explicaciones que descarten la evidencia negativa como un efecto de cambios que el modelo no contempla. Sin embargo, la condición *ceteris paribus* es bastante legítima en referencia a sistemas abiertos. Allí sólo apunta a una limitación del modelo, y no lo vuelve invulnerable cuando, en efecto, los otros factores no varían. Una cuarta condición de verificabilidad es que la proposición dada no puede escudarse del rechazo por una hipótesis ***mala fide ad hoc***, esto es, por una segunda proposición que no sea verificable independientemente y cuya sola función sea proteger a la primera.

Asumiendo que se cumplen las condiciones precedentes, todavía nos enfrentamos al problema de que las hipótesis (y teorías) vienen en diferentes grados de generalidad. En principio, las proposiciones singulares son más fáciles de contrastar que las universales. Por ejemplo, "Este pez ha sido envenenado" es más fácil de evaluar que "Todos los peces de este río han sido envenenados". Sin embargo, también puede haber extraordinarias dificultades para poner a prueba hipótesis singulares, tales como "Este objeto astronómico es un agujero negro". En lo que concierne a las proposiciones generales, es cierto que en principio un solo caso desfavorable refuta la afirmación de universalidad –con tal que la evidencia sea confiable. De cualquier manera, semejante resultado no descarta la generalidad. De hecho, aunque la generalización sea falsa en un rango, puede valer en otro. Por ejemplo, una hipótesis sobre los vertebrados en general, si es refutada, aún puede valer para algún subtaxón. Sin embargo, esto sólo puede establecerse continuando con los ensayos una vez que se tienen los primeros rechazos.

Paradójico como pueda sonar, las generalizaciones erráticas son en general más difíciles de verificar que las incluidas en teorías. La razón es que, mientras que una generalización aislada sólo puede contar con la evidencia que tenga que ver directamente con ella, una hipótesis que pertenezca a un sistema hipotético-deductivo también puede contar con la evidencia que favorezca a otros componentes del sistema. En otras palabras, una hipótesis sistémica puede gozar de res-

paldo empírico tanto directo como indirecto. Tal respaldo indirecto se multiplica si la teoría en cuestión está de acuerdo con otras teorías en el mismo o en diferentes campos.

Además de la generalidad, hay otro problema con las teorías: una teoría nunca puede ser sometida a prueba exhaustivamente porque está compuesta de una cantidad infinita de proposiciones. Por lo tanto, uno siempre puede quedar confinado a poner a prueba un subconjunto finito de su conjunto infinito de proposiciones. Estas proposiciones deben ser seleccionadas de alguna manera por el científico, por ejemplo, porque son de interés o de relevancia, o porque son nuevas (o mejor dicho), recién derivadas, o meramente fáciles de contrastar. Esto tiende a producir amontonamientos de hipótesis frecuentemente contrastadas junto con proposiciones que apenas si son revisadas de vez en cuando.

Peor aún, si las teorías en general son difíciles de poner a prueba, las más generales entre ellas son las más difíciles; si acaso son contrastables, son confirmables pero no necesariamente refutables. A fin de poner a prueba una teoría general, debemos enriquecerla con suposiciones específicas que se refieran en forma precisa a la composición, el entorno y la estructura del sistema en cuestión, ya que tenemos que contrastar la teoría con datos sobre objetos en particular de ciertas clases. Esto es, debemos concebir un modelo teórico o una teoría específica que represente al objeto en cuestión. Este modelo, y no la teoría general a la que está ligado, se pone a prueba. Sin embargo, si el resultado del test es negativo, no sabemos si lo que está mal es la teoría general o las suposiciones en especial. Afortunadamente la incertidumbre disminuye (pero no desaparece por completo) si una variedad de modelos de la misma teoría general tiene éxito o falla.

Finalmente, ¿qué hay sobre la metafísica o la ontología? La ontología es tan general que por cierto no es empíricamente contrastable en forma directa. Peor aún, gran parte de la metafísica tradicional es incluso ininteligible. Sin embargo, creemos que una ontología *científica* (tal como la que se esbozó en el capítulo 1) es *indirectamente* contrastable en virtud de su compatibilidad y coherencia con la ciencia.

3.7.3 *Confirmación* versus *falsación*

Las dos famosas escuelas de pensamiento filosófico acerca del estatus de la evidencia pueden denominarse *confirmacionismo* (o *inductivismo*) y *refutacionismo* (*falsacionismo* o *deductivismo*.) La primera se asocia con Carnap y Reichenbach; la segunda, con Popper. Por lo tanto, el confirmacionismo pertenece al empirismo y el falsacionismo al racionalismo. Y ninguna de las dos se ajusta a la práctica científica real.

Los confirmacionistas afirman que unas pocas excepciones apenas importan, mientras que los refutacionistas sostienen que son decisivas. Los primeros piensan en el grado de confirmación de una hipótesis como en la razón del número de casos favorables al número total de datos. Y, debido a la analogía formal entre

esta razón y la definición de Laplace de la probabilidad, identifican a estas dos y a su vez a ambas con el grado de verdad. Los refutacionistas se preocupan sólo por la evidencia negativa. Argumentan que, mientras que ninguna cantidad de confirmaciones del consecuente *B* de la hipótesis "Si *A* entonces *B*" resulta suficiente para confirmarla, un solo caso negativo basta para refutarla de acuerdo con la regla de inferencia *modus tollens*, "Si *A* entonces *B*, y no-*B*, entonces no-*A*".

La práctica científica real no se ajusta al confirmacionismo ni al refutacionismo. Por un lado, ambas filosofías comparten la creencia empirista de que los datos empíricos son firmes, mientras que los científicos saben que son casi tan falibles como las hipótesis. (Recuérdese nuevamente que los datos no son hechos sino proposiciones.) Por eso prueban los datos de un tipo nuevo contra hipótesis bien ensayadas. Por eso también protegen las hipótesis bien ensayadas con hipótesis (*bona fide*) *ad hoc* cuando los datos negativos parecen refutarlas. En resumen, no hay una base empírica absolutamente firme, y no todas las hipótesis son igualmente endebles. En verdad, algunas de ellas son respaldadas por otras hipótesis, las cuales, a su vez, han sido satisfactoriamente confirmadas. De esta manera, el respaldo para una hipótesis viene en parte de los datos empíricos y en parte del cuerpo disponible de conocimientos relevantes; tan es así que las hipótesis son comprobadas con el último, es decir, son conceptualmente testeadas, antes de someterlas a prueba empírica.

Es necesario aclarar que el refutacionismo es un útil llamado de alerta contra el confirmacionismo ingenuo, pero no una alternativa viable a éste. Primero, exagera la importancia de la crítica: después de todo, hay que crear las teorías antes de poder criticarlas. Segundo, niega la importancia de la confirmación, que es una poderosa fuerza motivacional que guía a los científicos. (Véase también Hull, 1988.) Después de todo, los científicos son reconocidos por proponer buenos datos, hipótesis y teorías, no por refutarlos. (No hay premios Nobel para la falsación de teorías.) Tercero, restringe la función de la observación y el experimento a la refutación de teorías, mientras que también son necesarios para producir datos (que a su vez son necesarios para operacionalizar teorías), para "descubrir" problemas e incluso para sugerir (modestas) hipótesis. Cuarto, si el refutacionismo tuviera razón, estaríamos justificados al sostener todas las hipótesis testeables que no han sido todavía refutadas. Por ejemplo, estaríamos justificados en creer en el cielo y el infierno, así como en la creación divina del universo. El escéptico metodológico, tal como el científico, rechaza estos mitos no porque hayan sido refutados por la observación o el experimento, sino porque no están respaldados por evidencia positiva alguna. Finalmente, si la falsación fuese el único árbitro del estatus científico de las teorías, nos veríamos obligados a considerar científicas teorías pseudocientíficas abrumadoramente refutables como la astrología. Sin embargo, no lo hacemos porque sean falsas sino porque son externamente irrazonables, esto es, incompatibles con el grueso del conocimiento bien confirmado. (Además, muchas de ellas también tienen defectos internos.) Sin embargo, hay un contexto en el que el refutacionismo funciona: el ensayo de hipótesis nulas (sección 3.4.4.)

En suma, los científicos de la vida real, a diferencia de los que imaginan algunos filósofos, están igualmente interesados en la evidencia empírica positiva y la negativa. Además, los científicos también valoran la compatibilidad de la hipótesis o teoría ensayada con el grueso del fondo de conocimientos. Su veredicto sólo es favorable en el caso de compatibilidad y confirmación razonable -y aún así, sólo hasta nuevo aviso.

3.7.4 *Operaciones empíricas*

Para obtener evidencia empírica en favor o en contra de una hipótesis, debemos abocarnos a operaciones empíricas, esto es, a acciones que involucren la experiencia sensorial o la percepción de algún tipo. El resultado de tal percepción es un dato empírico. Como ya hemos estudiado en la sección 3.2.3 la observación, modalidad básica de generación de datos, ahora examinaremos otras dos operaciones empíricas: medición y experimento.

3.7.4.1 Medición

La medición puede caracterizarse como observación cuantitativa o, más precisamente, como observación de propiedades cuantitativas. En sentido amplio, la mayoría de los organismos son capaces de "medir", esto es, de detectar propiedades cuantitativas, tales como gradientes y desviaciones de los valores óptimos de ciertos parámetros. Piénsese en la temperatura, luz, salinidad o acidez. Esto ni siquiera requiere la posesión de un sistema nervioso. Este último es, sin embargo, necesario para hablar de percepción y observación propiamente dichas. Es más, la medición en sentido estricto -en particular científico- involucra instrumentos de medición. Más precisamente, podemos decir de la medición propiamente dicha que: (a) toda medición presupone la operación conceptual de cuantificación o la asignación de números a los grados de una propiedad (junto con alguna unidad apropiada); (b) algunas mediciones también presuponen la concepción de hipótesis indicadoras si la propiedad cuantitativa, tal como una intensidad de campo, no es directamente observable, y (c) los instrumentos de medición deben estar equipados con agujas, así como con escalas, que permitan "leer" tales instrumentos.

Ahora bien, ¿qué miden exactamente los instrumentos de medición? Es necesario dejar bien en claro que miden propiedades de cosas, no cosas o hechos. Como no todas las propiedades son medibles, sugerimos elucidar la noción de propiedad medible de esta manera:

DEFINICIÓN 3.16. Una propiedad es *medible en principio* si es
(i) cuantitativa, y
(ii) manifiesta (observable) o legalmente relacionada con una propiedad manifiesta.

No hace falta decir que si una propiedad es realmente medible en un tiempo dado, esto depende de la pericia técnica del operador, la oportunidad y los recursos. En particular, el concepto que representa la propiedad cuantitativa en cuestión debe haberse cuantificado. Y si el concepto denota una propiedad transfenoménica, debe haberse conjeturado una hipótesis indicadora concerniente a su relación legal con una propiedad manifiesta. Ésta es la conocida tesis de que la medición científica depende de la teoría.

Cuando observamos y en particular cuando medimos alguna propiedad de un objeto, podemos perturbar o no al objeto mismo. Por ejemplo, la conducta de un animal podría ser más o menos diferente de su conducta natural cuando el hábitat normal es perturbado por la presencia del etólogo. Lo mismo vale, por ejemplo, para las mediciones fisiológicas. Por ejemplo, la medición de la temperatura corporal en los seres humanos es prácticamente inintrusiva, mientras que la medición de recambio de glucosa en el cerebro con ayuda de radioisótopos es algo intrusiva, y la medición de potenciales de acción en el sistema límbico por medio de electrodos es extremadamente intrusiva. Por lo tanto, debemos distinguir mediciones de dos tipos, que elucidamos mediante:

DEFINICIÓN 3.17. Se dice que una técnica de medición es *intrusiva* si y sólo si cambia en alguna manera el estado (y, *a fortiori*, el tipo) del objeto de medición. De otra forma, es *inintrusiva*.

La intrusividad de algunas mediciones plantea el problema metodológico de que si tal interferencia ocurre puede ser corregida. La respuesta es: a veces sí, a veces no. Por ejemplo, a veces podemos usar diferentes técnicas, o podemos explicar con ayuda de alguna teoría cómo y en qué grado la operación de medición interfiere con el objeto en cuestión. El problema de si una medición interfiere o incluso crea sus propios objetos es notorio en referencia a la física cuántica. Sin embargo, debemos dejar este debate a la filosofía de la física (véase Bunge, 1967c, 1973b, 1983b, 1985a). Más sobre medición en Bunge (1967b, 1971, 1983b).

3.7.4.2 Experimento

A diferencia de la medición de tipo inintrusivo, todo experimento involucra cambios controlados en el objeto de estudio. Es más, un experimento puede definirse como una acción controlada llevada a cabo por una persona sobre algún otro objeto o sobre una parte de sí misma, con el propósito de resolver algún problema cognitivo o práctico concerniente al objeto de experimentación, y tanto que la persona es capaz de recibir, registrar y analizar la reacción del objeto a esa acción. Así, lo común de todo experimento en contraste con la mera observación, es que el experimentador controla al objeto y su entorno (Bunge, 1983b).

De esta manera, *pace* Mayr (1982) y otros, no hay "experimentos naturales" (*Naturexperimente*). La naturaleza sólo cambia –a veces gradualmente y a veces catastróficamente– y los científicos pueden observar y analizar algunos de estos

cambios. Así, los *Naturexperimente* pertenecen a los llamados 'experimentos *ex post facto*', que en realidad no son experimentos sino eventos no planeados analizados en retrospectiva. Similarmente, los experimentos del pensamiento (*Gedankenexperimente*) no son experimentos genuinos. Un experimento pensado consiste en imaginar qué pasaría si ciertos hechos fueran a ocurrir o hubieran, o no hubieran ocurrido. Por ejemplo, las simulaciones por computadora son experimentos pensados. Los *Gedankenexperimente* no tienen fuerza validatoria pero pueden provocar hipótesis interesantes. En realidad, el mismo diseño de un experimento real es un experimento pensado. Y todo estudioso del pasado está constantemente haciendo "experimentos" de pensamiento.

Volvamos a los experimentos reales. Un *dispositivo experimental* (o *equipo*) es un sistema concreto con al menos tres componentes: el objeto de estudio *x* un objeto que suministra un estímulo (entrada) de alguna especie a *x*, y un objeto que monitorea la respuesta (salida) de *x* ante el estímulo. (En el caso de microobjetos tales como moléculas, el instrumento de medición está ligado al objeto medido vía un amplificador de alguna especie.) Un *experimento* en *x* consiste en (a) someter a *x* a un estímulo y observar su respuesta; (b) observar la salida del mismo objeto *x* o alguno del mismo tipo cuando no está sujeto al estímulo, y (c) comparar las respuestas y determinar si la diferencia entre ellas es significativa, es decir, debida al estímulo antes que atribuible al azar o a idiosincrasias de *x*.

El diseño y la interpretación de todo experimento presuponen una cantidad de hipótesis, de manera que los datos obtenidos mediante experimentos dependen de las hipótesis y a menudo de las teorías. Estas presuposiciones pueden agruparse en *genéricas*, esto es, compartidas por todos los experimentos, y *específicas*, es decir, propias de cada tipo de experimento. Las últimas consisten especialmente en hipótesis y teorías acerca de la naturaleza y el comportamiento de los objetos o medios experimentales. Las presuposiciones genéricas son de dos tipos: filosóficas y estadísticas. Como los principios estadísticos de la experimentación se explican ampliamente en los libros de texto relevantes, nos enfocaremos en los presupuestos filosóficos, que apenas si son analizados de vez en cuando. Estas presuposiciones filosóficas son:

1. *Realismo ontológico*: Los miembros de los grupos experimental y de control, así como los instrumentos de medición, existen realmente, aunque algunos de los objetos hipotetizados pueden ser imaginarios. Esta suposición es necesaria porque, si todas las cosas involucradas en un experimento fuesen ficciones de nuestra imaginación, entonces los experimentos imaginarios resultarían suficientes: todos los experimentos serían *Gedankenexperimente*.

2. *Legalidad*: Todos los objetos en el experimento se comportan legalmente. Se necesita esta suposición porque no tendría sentido ejecutar experimentos si la naturaleza fuese a dar "respuestas" significativamente diferentes cada vez que planteamos la misma "pregunta", o si los instrumentos se comportasen arbitrariamente.

Como nuestro tema principal es la filosofía de la biología, el presupuesto de legalidad merece alguna elaboración. Como se mencionó antes, necesitamos comprobar el resultado de los experimentos por razones metodológicas repitién-

dolos con el mismo objeto o con objetos del mismo tipo. Esta última opción presupone que -más allá de la variación- en realidad hay sistemas concretos *del mismo tipo* o, más precisamente, del mismo *tipo natural*, esto es, sistemas que son *nomológicamente equivalentes*. (Más sobre el concepto de tipo natural en secciones 7.2.1.7-8.) Con referencia a la biología esto implica que hay objetos biológicos del mismo tipo natural, o sea, organismos que comparten algunas leyes$_1$. En realidad, esto es lo que los biólogos presuponen tácitamente cuando experimentan con biosistemas de la misma especie o de algún taxón superior. Es más, sólo esta suposición les permite generalizar sus hallazgos, si bien a menudo sólo estadísticamente, como en el esquema "Un 96% de los individuos de la especie w responden a la droga x en la dosis y con la reacción fisiológica z". (Aun el 4% de excepciones todavía puede tener algo en común; por ejemplo, pueden constituir una cepa de genotipo diferente.) Sin embargo, si los filósofos antiesencialistas de la biología tuviesen razón al afirmar que los taxones, en particular las especies, no son clases de organismos nomológicamente equivalentes, sino individuos concretos cuyas partes necesariamente no tienen nada en común salvo la ascendencia, entonces los experimentos en biología serían ejercicios de futilidad. (Más sobre la tesis de los taxones-como-individuos en la sección 7.3.)

3. *Causalidad*: Todas las cosas involucradas en el experimento satisfacen alguna forma del principio causal por débil que ésta sea; por ejemplo, "Todo evento es el efecto de algún otro evento". De otra forma, no sería posible ninguna producción deliberada de efectos ni el control efectivo de variables.

4. *Aleatoriedad*: Todas las variables involucradas en el experimento están sujetas a alguna fluctuación aleatoria, tanto intrínseca como debida a perturbaciones externas. De otra forma, no seríamos capaces de explicar la dispersión estadística de los resultados. Nótese que esta presuposición no contradice el supuesto de legalidad, porque las perturbaciones aleatorias son ellas mismas legales.

5. *Aislamiento*: Los objetos diferentes del objeto experimental, el experimentador y sus medios experimentales pueden ser neutralizados o al menos monitoreados durante el experimento. De otra forma, ningún cambio significativo podría atribuirse exclusivamente a cambios en las variables de control.

6. *Artificios*: Siempre resulta posible corregir en alguna medida, ya sea empírica o teóricamente, los "artificios", perturbaciones o contaminaciones causadas por los procedimientos experimentales. Tales artificios no son alteraciones deliberadas del objeto sino distorsiones no buscadas, de él o de su imagen. (Piénsese en los artificios cromáticos causados por las lentes ópticas o la tinción de tejidos.) Si tales correcciones parciales fuesen imposibles, no podríamos afirmar legítimamente que la cosa para nosotros, o sea, tal como aparece para nosotros, se parece a la cosa en sí misma, es decir, tal como es cuando no está sometida a un experimento.

7. *Ausencia de psi*: Los procesos mentales del experimentador no tienen influencia directa sobre el resultado del experimento. Además, si alguien cree que, en principio, son capaces de hacer algo así, debemos presuponer que es posible escudar o desacoplar del experimento al experimentador. De otra manera, el resulta-

do del experimento podría, de manera consciente o inconsciente, ser producido por el mismo experimentador. (Si, a la manera de los parapsicólogos, se asume la existencia de las diversas capacidades paranormales, no es posible desacoplar al experimentador del experimento. Por lo tanto, no puede haber experimentos parapsicológicos genuinos.)

8. *Explicabilidad*: Siempre es posible justificar (explicar), al menos esquemáticamente, cómo funciona el dispositivo experimental, es decir, qué es lo que hace. De otra manera no estaríamos en condiciones de extraer conclusiones.

Esto concluye nuestra lista de supuestos filosóficos de la experimentación. Más sobre experimentación en Bunge (1967b, 1983b), y sobre algunas particularidades de los experimentos biológicos en Mohr (1981).

3.8 VERDAD E INDICADORES DE VERDAD

¿Por qué los científicos comprueban casi todo lo que imaginan o manipulan: datos, hipótesis, teorías, inferencias, métodos, instrumentos o lo que fuere? Aparentemente están interesados en saber si sus hipótesis en realidad "dicen" algo acerca del mundo real en vez de ser ficciones de su imaginación, y si sus métodos e instrumentos realmente funcionan. En otras palabras, están detrás del conocimiento *adecuado*, es decir, que buscan proposiciones *verdaderas* y procedimientos *eficientes*. Desechando esta última noción de utilidad y eficiencia como perteneciente a la tecnología y no a la ciencia básica, en las secciones siguientes examinaremos brevemente la vilipendiada noción de verdad.

3.8.1 *Verdad*

A tono con nuestra anterior distinción entre ciencias formales y fácticas, esto es, ciencias que tratan ya con constructos, ya con hechos, seguimos a Leibniz (1704) y distinguimos dos conceptos de verdad: *verdades de razón* (verdades formales) y *verdades de hecho* (verdades fácticas.) Se asignan valores de *verdad formal* a proposiciones que no "dicen" nada específico sobre los hechos, tales como "Llueve o no llueve", o carecen de referencia fáctica, tales como "7 es un número primo" y "Si p, entonces p o q". Por esto es que los valores de verdad formal se asignan y comprueban por medios puramente conceptuales, tales como la deducción (en particular la computación.) En contraste, los valores de *verdad fáctica* son atributos de proposiciones que hacen aseveraciones o negaciones definidas sobre hechos posibles o reales. En este caso, la verdad consiste en (el grado de) la correspondencia entre la proposición y algún ítem fáctico. Sin embargo, como no tenemos acceso a tal correspondencia, nuestras valoraciones de verdad de las proposiciones fácticas deben comprobarse por medio de operaciones empíricas. En consecuencia, mientras que la matemática

es autosuficiente, la ciencia fáctica no lo es: depende del mundo (así como de la matemática.)

Como la verdad formal y fáctica se predican de proposiciones de tipos radicalmente diferentes, cada una de ellas requiere su propia teoría de la verdad. Esto es, necesitamos una teoría de la verdad en términos de *coherencia* para explicar la noción de verdad formal, y una teoría en términos de *correspondencia* para elucidar la de verdad fáctica. Mientras que la teoría de modelos, es decir, la semántica de la lógica y la matemática, contiene una teoría de la verdad como coherencia, una teoría de la correspondencia es hasta ahora poco más que un programa. Más aún, la misma idea de teoría de la verdad como correspondencia ha sido atacada por una variedad de filósofos, incluso de algunos que se consideran realistas. Sin embargo, aquí no hay lugar para considerar estas críticas, y por lo tanto seguimos con una elucidación de las ideas básicas de teoría de la verdad como correspondencia.

Primero consideremos la fórmula escolástica *veritas est adaequatio intellectus ad rem*. ¿Cómo puede una proposición, que es un *ens rationis*, es decir, un constructo, adecuarse a (estar a la altura de o ajustarse a) un hecho en el mundo de las cosas? Una respuesta realista ingenua es que hay un isomorfismo entre una proposición (o incluso una teoría) y la porción de realidad a la que se refiere. Empero, el isomorfismo en sentido técnico es una relación entre conjuntos. Sin embargo, ni una proposición ni la cosa (o cosas) concreta a la que se refiere son conjuntos. (Véase también sección 9.3.2.2.) Incluso no podemos resolver este problema postulando que al menos los conjuntos (mejor dicho, los sistemas) de proposiciones, tales como las teorías, pueden corresponder a colecciones de hechos, porque las teorías contienen infinitas proposiciones y esto basta para hacer imposible un isomorfismo teoría-hecho. Finalmente, como incluso una noción débil de isomorfismo presupone alguna similitud estructural entre la representación y lo representado, no puede aplicarse aquí porque los constructos son clases de equivalencia de procesos cerebrales, y simplemente no hay similitud entre éstos y los hechos del mundo real (véase postulado 3.5).

A fin de acercarnos a una solución del problema de la correspondencia, dejemos de pretender que la relación de verdad se cumple entre proposiciones y hechos. En lugar de eso, asumamos que las proposiciones pueden ajustarse a otras proposiciones, y los hechos a otros hechos. Así la correspondencia que buscamos se presenta entre hechos mentales, o sea, procesos cerebrales de cierto tipo, y otros hechos, mentales o no. Esta estrategia nos permitirá caracterizar el concepto de conocimiento parcial verdadero de un hecho; una vez en posesión de esta noción podemos proceder a definir el concepto de verdad de una proposición (véase Bunge, 1983b).

Considérese una cosa υ interna o externa de un animal a dotado de un cerebro capaz de aprender. Denomínese e un evento que ocurre en la cosa υ, y e^* a la correspondiente representación perceptual o conceptual de e en el cerebro de a. Entonces decimos que a ha ganado *conocimiento parcial verdadero* del hecho e si y sólo si, e^* es idéntico a la percepción o concepción de e como un cambio en la

cosa υ (antes que como un no cambio o como un cambio en alguna otra cosa.) El conocimiento verdadero (aunque parcial) que *a* ha adquirido del evento *e* es el evento neural e^*, y la *correspondencia* involucrada es la relación entre los eventos *e* y e^*.

Hasta ahora hemos estado hablando de pensamientos, esto es, de eventos concretos, no de constructos, a los que definimos como clases de equivalencia de pensamientos. Para llegar a las proposiciones, formamos la clase de equivalencia de los pensamientos e^* que constituyen el conocimiento verdadero (aunque usualmente parcial) de *e*: $[e^*]$. Nótese que no es verosímil que dos miembros cualesquiera de la clase $[e^*]$ sean idénticos, ya que son pensamientos de un animal dado en diferentes ocasiones, o pensamientos de diferentes animales, y en cualquier caso difieren en algún aspecto. Sin embargo, todos son equivalentes en que cada uno de ellos constituye conocimiento parcial verdadero de *e*; esto es, para cada miembro e^* de $[e^*]$, e^* sucede si y sólo si *e* ocurre (ocurrió u ocurrirá). Identificamos la proposición p = "ocurre *e*" con esa clase de equivalencia de pensamientos, o sea establecemos $p = [e^*]$. Y estipulamos que p es verdadera si y sólo si *e* ocurre u ocurrió. Así, la relación de correspondencia que se cumple entre un hecho mental y algún otro hecho (mental o no mental) pone a las proposiciones en relación con los hechos. En forma acorde, la verdad y la falsedad son *primariamente* propiedades de las percepciones y concepciones (es decir, pensamientos proposicionales) y sólo *secundariamente* (o en forma derivada) atributos de estas clases de equivalencia de pensamientos que llamamos 'proposiciones'.

Nótese que hablamos de conocimiento verdadero *parcial* en el (muy simple) ejemplo precedente, porque los hechos son usualmente complejos y por lo tanto nuestras representaciones corresponderán sólo aproximadamente a algunos hechos reales. Como la correspondencia entre representación y hecho representado es parcial o aproximada, nuestra noción de verdad fáctica sólo puede ser una de verdad parcial. Es más, sólo un concepto de verdad aproximada es compatible con el realismo científico. (Para diferentes nociones de verdad aproximada o parcial véase, p. ej., Popper, 1962; Bunge, 1963, 1974b, 1983b; Marquis, 1990; Weston, 1992.) En un concepto de verdad parcial, el valor de verdad atribuido a una proposición es un número real comprendido entre 0 (falso) y 1 (completamente verdadero.) (De esta manera, una verdad a medias es también una falsedad a medias.) Sin embargo, como hemos distinguido la verdad formal de la fáctica, no necesitamos una lógica de muchos valores para manejar la noción de verdad (fáctica) parcial. Después de todo, la lógica concierne a la deducción, no a la verdad fáctica: esto es, la lógica es aléticamente neutral (Bunge, 1974b). Más aún, debemos alertar contra confundir la verdad parcial con la probabilidad. Las proposiciones implican la no aleatoriedad, por lo tanto, la no probabilidad. Un enunciado de probabilidad es uno acerca de la probabilidad de la ocurrencia de cierto hecho, no un enunciado que sólo es plausible. Por ejemplo, el valor de verdad de la proposición "La probabilidad de que una moneda (no falsa) caiga en cara es 0.5", no es él mismo 0.5, sino 1 (recuérdese la sección 1.10.2.3).

Nótese también que, para mayor simplicidad, sólo tratamos proposiciones in-

dividuales y no teorías. El problema con las teorías es que una teoría entera resulta impensable dado que contiene infinitas proposiciones. Sólo podemos pensar en unos pocos enunciados de cualquier teoría dada. Así, hablar de la verdad o la falsedad de una teoría involucra un salto inductivo sobre la base de alguna evidencia. Obsérvese también que, si la verdad es atributo de proposiciones, o sea, una noción semántica, entonces debemos tener presente que el término 'verdad' a menudo se usa sólo en sentido metafórico. Por ejemplo, en las expresiones 'la verdad está allá afuera', 'he descubierto la verdad' o 'la verdad detrás de las apariencias' el término 'verdad' se equipara con 'mundo' o 'realidad', 'hecho' y 'hecho transfenoménico'.

Finalmente, deberíamos abordar el principal problema acerca de cualquier teoría de la verdad como correspondencia, es decir, que no tenemos acceso directo a ninguna correspondencia proposición-hecho, o mejor dicho, hecho mental-otro hecho. En realidad en una teoría de la verdad como correspondencia una proposición es (parcialmente) verdadera, es decir, que corresponde en ciertos aspectos a algún hecho, o falsa, es decir, que no corresponde a algún hecho, aunque podemos no tener conocimiento de esta correspondencia o no correspondencia. En otras palabras, el conocimiento que un individuo tenga de una proposición p no implica que p es verdadera ni que tal individuo sabe que p es verdadera. Podemos ganar conocimiento de la verdad (parcial) de p sólo investigando a los referentes de p. Esto resulta obvio para cualquier científico que conjetura o infiere una hipótesis p pero, si es racional, no puede afirmar ningún valor de verdad para p hasta que p haya sido sometida a algunas pruebas.

En suma, como no tenemos acceso directo a la correspondencia involucrada en la noción de verdad como *adaequatio intellectus ad rem*, tenemos que conformarnos con indicadores o síntomas de verdad que nos permiten hipotetizar alguna correspondencia entre nuestras hipótesis y la realidad. A estos indicadores nos referimos a continuación.

3.8.2 *Indicadores de verdad*

Como a menudo la verdad no es manifiesta, nos vemos obligados a depender de síntomas o indicadores de verdad. Para el realista científico hay dos tipos de tales indicadores de verdad: empírico y conceptual. El indicador *empírico* de verdad de una hipótesis dada es, por supuesto, el cuerpo de la evidencia empírica en favor o en contra de esta hipótesis. Tal evidencia puede confirmar (o respaldar) la hipótesis, o puede rechazarla (o minarla.) (Como los términos 'verificación' y 'falsación' [o 'refutación'] sugieren carácter absoluto y certeza, preferimos los más cautelosos 'confirmación' y 'rechazo'.) Cuanto más variada y numerosa es la evidencia en favor (o en contra) de una hipótesis, es más fuertemente confirmada (o rechazada.) Incluso, el peso de alguna evidencia empírica depende del estatus de la proposición para la cual tal evidencia resulta relevante: no es lo mismo para una hipótesis establecida que para una nueva. En otras palabras, se ne-

cesita más que unos pocos datos desfavorables para echar abajo una hipótesis anteriormente bien confirmada. Esto vale *a fortiori* cuando la hipótesis en cuestión es parte de una teoría, porque en este caso se encuentra indirectamente respaldada por toda la evidencia en favor de las otras proposiciones asociadas con la teoría. En cambio, cualquier respaldo para una nueva conjetura resulta de gran valor, y cualquier hallazgo negativo concluyente es suficiente para desacreditarla (al menos por el momento.)

Mientras para los empiristas la adecuación empírica es todo lo que importa (véase, p. ej., van Fraassen, 1980), el realista científico supone que la adecuación empírica, aunque necesaria, no es un indicador suficiente de verdad fáctica. Esto es así porque, en principio, dos o más hipótesis o teorías inequivalentes pueden disfrutar del mismo respaldo empírico. Piénsese en los modelos del sistema planetario de Ptolomeo, Tycho y Copérnico-Galileo, anteriores a Newton. En la filosofía de la ciencia esto se conoce como el problema de la *infradeterminación* de una hipótesis o teoría por medio de la evidencia. Sin embargo, esta infradeterminación con referencia a la evidencia disponible en un cierto momento no trae aparejado que una nueva evidencia en algún momento posterior jamás constituirá una diferencia en la adecuación empírica de la teoría o hipótesis. En realidad, las tres teorías planetarias ya no eran empíricamente equivalentes para la segunda mitad del siglo XVII. Más aún, al aumentar el número de parámetros fenomenológicos de una teoría se puede mejorar indefinidamente su ajuste a cualquier conjunto de datos, aunque al precio de perder su poder explicativo.

De esta manera, el realista científico hace uso no sólo de indicadores de verdad empíricos sino también *conceptuales*. Un indicador semejante es la *consistencia interna*. Sin embargo, aunque es condición necesaria para la verdad de una teoría, resulta insuficiente porque resulta fácil fraguar teorías consistentes pero que discrepan con los hechos. Más importante, por lo tanto, es la *consistencia externa*. Con "consistencia externa" expresamos la compatibilidad de una hipótesis o teoría con el *grueso* del conocimiento precedente. Esto es, por más heterodoxa o revolucionaria que pueda ser una nueva conjetura en un cierto campo, no hay esperanzas para ella si pone de cabeza a la totalidad de la ciencia de un solo golpe. Más aún, no podemos prescindir de la coherencia externa porque no podemos plantear problemas interesantes en el vacío: todo problema tiene presuposiciones; y podemos evaluar nuevas ideas sólo a la luz de algún fondo de conocimientos. Finalmente, nuestro fondo de conocimientos proporciona no sólo una guía heurística sino también un respaldo empírico indirecto. En particular, si las hipótesis en cuestión se relacionan lógicamente, entonces cualquier confirmación directa (o rechazo) de una de ellas es la confirmación indirecta (o rechazo) de la otra.

A fin de que el criterio de consistencia externa no resulte sospechoso de constituir un medio para entronizar el dogma, obstaculizar la investigación y promover el conformismo, quisiéramos notar que debe aplicarse prudentemente. Sin embargo, necesitamos algún medio para distinguir entre las nuevas conjeturas promisorias y las azarosas, aun cuando existe una zona gris entre las afirmaciones heterodoxas pero razonables y las mal concebidas o incluso pseudocientífi-

cas. En suma, aunque abogamos por una forma de conservadurismo moderado, sostenemos que normalmente los científicos evalúan hipótesis y teorías de acuerdo con el criterio de consistencia externa. (Si tiene dudas, trate de postularse para una beca de investigación en un campo científico o tecnológico. Sin embargo, sus posibilidades de salirse con la suya aplicando el principio de "todo vale" no serían despreciables si se postula para una beca en filosofía.)

Un indicador relacionado es el *poder unificador* de una teoría, es decir, la capacidad de abarcar teorías previamente separadas. Otro fuerte indicador de verdad es el *poder predictivo* de las teorías. Las nociones de poder unificador y predictivo están relacionadas con la idea de *consiliencia* como la propuso Whewell: "La predicción de resultados, aunque del mismo tipo de los que han sido observados, en nuevos casos, es prueba del éxito real en nuestro proceso inductivo. [...] Pero la evidencia en favor de nuestra [teoría de la] inducción es de un carácter mucho más alto y forzoso cuando nos permite explicar y determinar casos de un tipo diferente de los que se contemplaron en la formación de nuestra hipótesis. [...] Ningún accidente podría originar tan extraordinaria coincidencia" (1847, vol. 2:65).

Indicadores adicionales son el *poder heurístico,* así como la *estabilidad* y la *profundidad* de una teoría. Las nuevas teorías deberían sugerir y guiar la investigación antes que sólo resumirla, y no deberían fallar ante la primera evidencia desfavorable. Sin embargo, la estabilidad tiene sus límites: no deberíamos salvar una teoría a cualquier costo añadiendo más y más epiciclos. En lo que respecta a la profundidad, los científicos claramente prefieren las teorías mecanísmicas antes que las fenomenológicas, porque son explicativas y no sólo descriptivas. Más aún, pueden tener un mayor poder predictivo.

Un indicador de verdad proverbial, pero ambivalente y nada confiable, es la *simplicidad*. Mientras que estamos de acuerdo en que las teorías no deberían ser tan complicadas que cualquier ensayo empírico fuera prácticamente imposible (simplicidad metodológica), otras formas de simplicidad, tales como lógica, matemática y psicológica, son indicadores de verdad bastante dudosos. Después de todo, resulta que el universo es muy complejo. Más aún, el progreso científico y tecnológico ha sido una carrera de complejidad creciente desde todo punto de vista. Compárese, por ejemplo, la genética de Mendel con la genética molecular contemporánea. (Más acerca de la simplicidad en Bunge, 1963; y más sobre indicadores de verdad en Bunge, 1967b, 1983b.)

Para concluir, la evaluación de las hipótesis y teorías científicas se lleva a cabo sobre la fuerza de una completa batería de tests, algunos empíricos y otros conceptuales. Dependiendo del resultado de tal evaluación, que usualmente se ejecuta de manera tácita antes que explícita, estamos justificados en creer que la hipótesis o teoría en cuestión corresponde al menos en algún grado a algún hecho real. En otras palabras, el grado de confirmación de una hipótesis justifica nuestra creencia de que es parcialmente cierta. Usualmente, no asignamos números precisos a las proposiciones, sino decimos que su grado de confirmación es muy fuerte, fuerte, dudoso, débil o muy débil. Aunque en la práctica debemos conformarnos con tales grados cualitativos de confirmación o de éxito de los ensayos

sobre la base de todos los indicadores antes mencionados, la teoría de la verdad como correspondencia nos dice al menos en qué consiste la verdad de una proposición –si es verdadera a juzgar por su éxito frente a las pruebas.

3.9 PROYECCIÓN

Podemos resumir nuestra epistemología señalando varias de las doctrinas o *ismos* involucrados.

La primera tesis es, por supuesto el *realismo epistemológico*, esto es, el supuesto de que el mundo puede conocerse, aunque sólo sea parcialmente (véase postulado 3.4). Obviamente nuestro realismo epistemológico no es de tipo *ingenuo*, sino un *realismo crítico*. El realismo crítico sostiene que el conocimiento perceptual, aunque indispensable, es superficial, incompleto y a menudo erróneo, por lo que debe ser enriquecido con conocimiento hipotético o teórico. Este conocimiento teórico consiste en construcciones (p. ej., proposiciones, teorías) que pueden ir mucho más allá de las apariencias.

Por eso otro ingrediente de nuestra filosofía es el *constructivismo epistemológico*, esto es, la tesis de que los conceptos y sus componentes son nuestra propia creación. Algunas de nuestras construcciones pueden representar hechos en el mundo, no importa cuán imperfectamente, de un modo simbólico en vez de iconográfico. Otros son ficciones lisas y llanas sin contraparte fáctica, por ejemplo, objetos matemáticos y míticos. Nótese que nuestro constructivismo es epistemológico, no ontológico: construimos modelos del mundo, no el mundo mismo.

Nuestro constructivismo epistemológico presupone el *naturalismo epistemológico*, el cual es la tesis de que la cognición es un proceso cerebral y que no hay modos de cognición sobrenaturales o paranormales, es decir, no cerebrales. Al ser funciones de los sistemas biológicos, las capacidades cognitivas están sujetas a la evolución biológica. Así, el naturalismo epistemológico viene junto con el *evolucionismo epistemológico*. Este evolucionismo, sin embargo, no implica ningún adaptacionsimo ingenuo, o sea, la tesis de que sólo podemos llegar a conocer aquellas cosas a las que nos hemos adaptado. Las capacidades cognitivas más interesantes e importantes son procesos en los sistemas neuronales plásticos, no en los comprometidos. Así pues, no todas las funciones en los sistemas neuronales plásticos necesitan ser adaptativas, mientras que la plasticidad en sí misma bien puede serlo. (Esto impone límites al programa sociobiológico.)

En lo que concierne a las dos grandes tradiciones de la epistemología, el racionalismo y el empirismo, debemos combinar consignas fundamentales de ambas. Esto se debe a que tanto la razón como la experiencia son necesarias, aunque no suficientes por separado, para obtener conocimiento científico del mundo. En realidad, adoptar una hipótesis sin dar alguna razón es superstición, y adoptar incluso un enunciado fáctico bien razonado pero sin algún respaldo empírico es dogmatismo. Incluso, la práctica científica muestra claramente el jue-

go recíproco entre la teorización y la investigación empírica: mientras que las observaciones, mediciones y experimentos a veces arrojan hallazgos que necesitan teorizarse, otras veces la teorización precede a los estudios empíricos. En resumen, la ciencia combina las mitades razonables del racionalismo y el empirismo: el análisis conceptual, la teorización y la discusión vienen junto con la observación, la medición, el experimento y la práctica. Esta síntesis puede denominarse *racioempirismo*.

Nuestra epistemología es asimismo *justificacionista* en el sentido de que requiere que toda proposición, ya sea hipótesis o dato, sea justificable teórica o empíricamente en última instancia. Es decir, un enunciado científico, o bien debe seguirse de premisas en una teoría, o bien debe estar respaldado por una evidencia empírica controlada. Nótese, sin embargo, que como las teorías, al igual que los datos empíricos, son corregibles, la justificación sólo puede ser relativa o condicional, no absoluta. Así, nuestra versión del justificacionismo es *falibilista* (recuérdese la regla 3.2.) También argüimos que los científicos son asimismo *melioristas*, porque usualmente abrigan la esperanza de detectar al error y reducirlo (véase postulado 3.6). (Incidentalmente, la creencia de que nuestro conocimiento de los hechos puede contener errores y por lo tanto debe ser revisado, presupone la realidad y autonomía de los hechos en cuestión; véase Bunge, 1981a, apéndice).

Finalmente, deberíamos agregar a nuestra epistemología una versión de *cientificismo* que no había sido mencionado antes. Ésta es la tesis de que cualquier objeto cognoscible y que valga la pena conocer puede conocerse científicamente, y que la ciencia provee el mejor conocimiento fáctico posible, aunque puede contener errores y de hecho los contiene. Esta forma de cientificismo no debería confundirse con el programa de unificación neopositivista, de acuerdo con el cual toda disciplina debería en última instancia ser reducida a una ciencia básica, tal como la física o la psicología. Tampoco nuestra versión del cientificismo requiere que aceptemos a la ciencia en su estado actual. Esto sería claramente incompatible con el falibilismo y el meliorismo.

La síntesis de todos los *ismos* precedentes constituye nuestra versión del realismo científico. Ahora estamos listos para aplicar a la biología los fundamentos filosóficos expuestos en este capítulo y en los anteriores y proponer una filosofía de la biología sistemática, aunque sólo sea en forma parcial.

PARTE II

PUNTOS FUNDAMENTALES EN BIOFILOSOFÍA



4 VIDA

4.1 ¿QUÉ ES LA VIDA? UN PROBLEMA FILOSÓFICO-CIENTÍFICO

Durante mucho tiempo, la vida fue un misterio en torno al cual prosperaron los cultores del misterio. Es más, mientras la pregunta '¿Qué es la vida?' sólo se trató fuera de la ciencia, es decir, en la metafísica tradicional, apenas cabía esperar una respuesta plausible. Sin embargo, aun cuando se le enfocó científicamente, no podía esperarse una respuesta satisfactoria mientras los seres vivos fueron estudiados o bien en su propio nivel (enfoque holístico) o como sistemas físicos desprovistos de propiedades emergentes (reduccionismo), y en ambos casos separados de su historia. Sólo la biología moderna, en su calidad de disciplina de niveles múltiples entre la biología evolutiva y la molecular, ha transformado el misterio de la vida en el problema de la vida: su origen y mantenimiento, su evolución y extinción. La pregunta '¿Qué es la vida?' se convirtió en un problema *filosófico-científico*.

A pesar de estas nuevas perspectivas por responder una pregunta en parte científica y en parte metafísica, no resultaría exagerado decir que muchos estudiosos de las cosas vivientes parecen interesarse en una definición del concepto de vida sólo durante el primer año de su carrera, y tal vez hacia el final. A la mitad de la carrera, a menudo se les desanima en tratar de elucidar este concepto y, en general, en involucrarse en cuestiones filosóficas. En cambio, se les anima a "abocarse a lo suyo", lo que por supuesto puede hacerse exitosamente dando la vida por sentada. Más aún, la biología molecular y en particular las teorías de evolución molecular parecen incluso haberse desanimado en una definición de "vida" basándose en que no tendría sentido trazar una distinción nítida entre entidades vivas y no vivas: habría sólo una transición continua y gradual. Aparentemente sólo unos pocos físicos, bioquímicos y biólogos que tratan temas tales como el papel de la autoorganización, la sinergia y la termodinámica en biología han abordado el concepto de sistema vivo, aunque sus sugerencias usualmente (por desgracia) son demasiado generales para resultar de relevancia biológica.

Es interesante que pese a ser un problema filosófico-científico o, más precisamente, un problema ontológico-científico, la pregunta '¿Qué es la vida?' tampoco es un tema candente en la biofilosofía contemporánea. Algunos filósofos, que simpatizan en parte con el funcionalismo (p. ej., Sober, 1991:763), dicen incluso que una respuesta a esta pregunta tampoco importaría mucho, de todas formas. (Si no está familiarizado con la literatura actual, consulte Ruse, 1988. Por supuesto, hay excepciones, como Wuketits, 1983 y Sattler, 1986, pero el libro del último es algo místico.) En contraste, algunos de la vieja guardia sí abordaron la cuestión (p. ej., Haeckel, 1866; Schrödinger, 1944; Sommerhoff, 1950; von Berta-

lanffy, 1952; Hartmann, 1965; Monod, 1971; Rensch, 1971; Mayr, 1982.)

Como es bien conocido, las dos opiniones tradicionales sobre la vida son el *vitalismo* y el *mecanismo* (o *mecanicismo*). De acuerdo con el vitalismo, las cosas vivientes se distinguen por entidades inmateriales especiales, tales como entelequias y espíritus animales; o algunas propiedades particulares, tales como la persecución de metas o formación de totalidades; o algunas fuerzas especiales tales como el *élan vital* o el *Bildungstrieb*. Como el vitalismo ha sido suficientemente vapuleado, podremos ignorarlo aquí con seguridad. De cualquier manera, su incompatibilidad con una metafísica materialista debería resultar obvia. (Sin embargo, siempre hay quienes aún tienen inclinaciones vitalistas: véanse p. ej., Lenartowiczn 1975; Engelsn 1982.)

La respuesta mecanística viene en dos versiones, que pueden denominarse *fisicoquimicalismo* y *maquinismo*. De acuerdo con la primera, los organismos sólo son sistemas físicos o fisicoquímicos extremadamente complejos: no tienen propiedades o leyes propias. De acuerdo con el maquinismo, los organismos no son meramente sistemas fisicoquímicos extremadamente complejos, sino sistemas semejantes a máquinas, si no propiamente máquinas. Tres ejemplos comunes de este legado de Descartes y de La Mettrie saltan a la mente. El primero es el enfoque de la biología según Daniel Dennett, de acuerdo con el cual "la biología no sólo es como la ingeniería; es ingeniería" (1995:228.) El segundo es la descripción de organismos en términos de varias teorías formales de máquinas, tales como la teoría de los autómatas autorreplicantes. Obsérvese el maquinismo indisimulado del proyecto Vida Artificial (Langton, 1989:5-6), que se discutirá en la sección 4.4. El tercero es la llamada "Escuela de Morfología Constructiva de Frankfurt", que apunta a describir los organismos exclusivamente como máquinas hidráulicas y convertidores de energía (Gutmann, 1995.) No comentaremos aquí este enfoque, ya que apenas se le conoce fuera de Alemania, y lo hemos criticado en otra parte (Mahner, 1995.) Aunque el mecanicismo tiene el mérito de haber sido extremadamente fructífero en el pasado, resulta inadecuado aunque sólo sea porque se da de patadas con la evidencia de que estar vivo no es lo mismo que estar muerto.

Adoptaremos una tercera opción, a saber, el *biosistemismo*, que reconoce el *bios* como un nivel emergente arraigado en el químico (Bunge, 1979a). Más precisamente, el biosistemismo sostiene que (a) los sistemas vivos, aunque compuestos de subsistemas fisicoquímicos, tienen propiedades emergentes, en particular leyes, de las que sus componentes carecen (fig. 4.1), y (b) las unidades de la ciencia biológica son el organismo-en-su-ambiente, así como sus diferentes subsistemas (moléculas, células, órganos) y supersistemas (población, comunidad, ecosistema.)

Por supuesto, el hecho de que los seres vivos no sólo son agregados de partes sino totalidades integradas y coordinadas (esto es, sistemas) ha sido reconocido desde hace mucho, en particular entre citólogos (véase, p. ej., la revisión en Woodger, 1929); pero no fue generalmente aceptado debido a la fuerte influencia del mecanicismo y el reduccionismo. A una interpretación sistémica de la vida también se le conoce como *organicismo* (von Bertalanffy, 1952, 1968; Weiss,

1973; Wuketits, 1989; Mayr, 1996). Aunque von Bertalanffy distinguió con claridad el organicismo del holismo, a veces esta distinción fue subsecuentemente difundida por otros. Por esta razón, y a fin de evitar cualquier ambigüedad, preferimos nuestro término propio 'biosistemismo'.

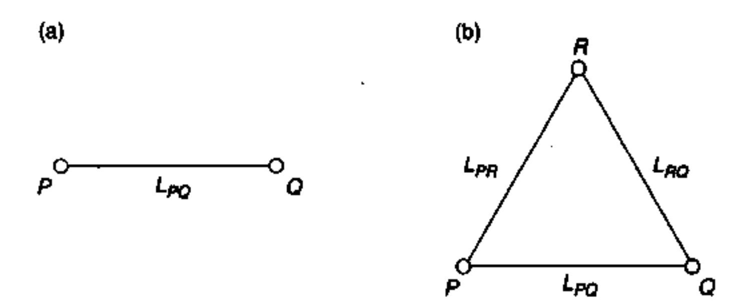


Fig 4.1 a, b. Las cosas vivientes y no vivientes poseen diferentes propiedades y, así, leyes. **a** el sistema no viviente *a* posee dos propiedades *P* y *Q*, relacionadas por la ley L_{PQ}. **b** el biosistema *b* posee todas las propiedades y leyes del sistema no viviente y, adicionalmente, la propiedad emergente *R*. También se caracteriza por leyes propias: L_{PR} y L_{RQ}.

4.2 BIOSISTEMA

Aunque muchos autores creen que la definición de "vida" es una tarea elusiva, de cualquier manera intentaremos dar una lista de propiedades que, según creemos, de manera conjunta caracterizan a las cosas vivientes, y sólo a ellas. Según nuestro análisis CES de los sistemas (sección 1.7.2), asumimos que un ser viviente es un sistema material tal que

(i) su *composición* incluye ácidos nucleicos, así como proteínas (tanto estructurales como funcionales, en particular enzimáticas, y estas últimas le permiten explotar su hábitat);

(ii) su *ambiente* incluye algunos precursores de sus componentes (y así le permite al sistema autoensamblar la mayoría de sus biomoléculas, si no es que todas);

(iii) su *estructura* incluye las capacidades de metabolizar, y de mantenerse y repararse a sí mismo (dentro de ciertos límites.)

Expresamos esta hipótesis en un axioma y una convención:

POSTULADO 4.1. Existen sistemas concretos de un tipo *B* tales que para cada *b* miembro de *B*,

(i) *b* se compone de subsistemas químicos y bioquímicos, en particular agua, proteínas, ácidos nucleicos, carbohidratos y lípidos;

(ii) los componentes de *b* están lo suficientemente contiguos como para permitir interacciones (bio)químicas continuas entre ellos;

(iii) el límite de *b* involucra una membrana lipídica flexible y semipermeable (biomembrana);

(iv) *b* incorpora algunas de las biomoléculas que sintetiza (en vez de liberarlas inmediatamente a su hábitat);

(v) las posibles actividades de *b* incluyen el ensamblaje, reacomodo y desmantelamiento de componentes (que permiten el automantenimiento de *b* durante un cierto tiempo), así como la captura y almacenamiento de energía libre (p. ej., en moléculas de ATP) para consumo futuro (metabolismo);

(vi) algunos de los subsistemas de *b* regulan la mayoría de los procesos que ocurren en *b* de manera tal que se mantiene en el sistema un *milieu intérieur* bastante constante (homeostasis, autorregulación);

(vii) uno de los subsistemas de *b* involucrados en la autorregulación –su sistema génico– está compuesto por moléculas de ácidos nucleicos, y su interacción con otros subsistemas de *b* (co)regula el automantenimiento, así como el desarrollo –si lo hay– y la reproducción –si la hay– de *b*;

(viii) todos los sistemas de control en *b* están interconectados por señales químicas (tales como la difusión de iones, átomos o moléculas, y reacciones químicas propagativas) y así constituyen una red (química) de señales;

(ix) *b* puede ajustarse a *algunos* cambios ambientales sin arriesgar la continuidad de su existencia.

DEFINICIÓN 4.1. Los sistemas de tipo B a los que se refiere el postulado 4.1 se denominan *biosistemas*, *sistemas vivientes*, *cosas vivientes* o *seres vivientes*.

Debería notarse que "biosistema" no es coextensivo con "organismo". Todos los organismos son biosistemas pero no a la inversa. Piénsese en las células, tejidos y órganos que constituyen un organismo multicelular; son componentes vivientes de organismos, pero no organismos ellos mismos. Por esta razón, deberemos definir por separado el concepto de organismo (véase definición 4.5.)

Lo que hemos afirmado en el postulado 4.1 usualmente se denominaría una 'definición de la vida'. Pero sería incorrecto. Lo que hemos hecho es *hipotetizar* las propiedades que en forma conjunta serían necesarias y suficientes para constituir un sistema viviente. Como no definimos cosas sino sólo conceptos y signos, sólo podemos definir el concepto "vida". Esta definición puede ser como sigue:

DEFINICIÓN 4.2. Vida $=_{df}$ la colección de todos los sistemas vivientes –pasados, presentes y futuros.

En otras palabras, "vida" es la extensión del predicado "está vivo". La vida no es una entidad material ni inmaterial, ni una sustancia o fuerza, ni una propiedad: es una colección, por lo tanto, un objeto conceptual. (Véase también Mayr 1982.) Lo que es una propiedad es *estar vivo*, y es una propiedad de algunos sistemas complejos con cierta composición, entorno y estructura. No hay, sin embargo, ningún sistema compuesto por todos los seres vivientes –pasados, presen-

tes y futuros- que posea él mismo la propiedad de estar vivo. Esto debe enunciarse específicamente porque la metafísica de algunos autores les permite hablar de los taxones biológicos como si fueran "partes de la vida" (Nelson 1989.) Aunque Nelson entiende que la palabra 'vida' denota un grupo monofilético constituido por todos los organismos, su uso de la relación parte-todo presupone que la vida o "materia viviente" es un sistema material. Como esto es falso, deberíamos tener presente que hablar de 'vida' en vez de 'sistemas vivientes' es en la mayoría de los casos una elipsis.

Lo anterior, sin embargo, no agota el significado del término 'vida', que tiene diferentes significados en expresiones tales como 'la vida de *b*'. Aquí, 'vida' significa la ***historia*** (total o parcial) de un biosistema *b*.

Como las caracterizaciones de los sistemas vivientes siempre dan origen a controversia, vale la pena hacer unas pocas observaciones acerca del postulado 4.1:

1. La cláusula (i) restringe la noción de sistema viviente a los biosistemas familiares de la Tierra. Algunas personas, desde escritores de ciencia-ficción hasta defensores de la Vida Artificial formularán seguramente la objeción de que deberíamos hacer lugar a una concepción más amplia de la vida. Después de todo, no sabemos cómo podrían estar compuestos los sistemas vivientes, si los hay en otros planetas. Cierto, pero los sistemas vivientes de nuestro planeta son las únicas cosas vivas que conocemos, y por esto las únicas que requieren investigación y comprensión científicas. Todo lo demás es por el momento pura especulación. Por ejemplo, lo que se ha dado en llamar 'exobiología' no tiene (todavía) materia de investigación, por lo que no es una disciplina científica propiamente dicha. En lo que respecta a la Vida Artificial, merece su propia sección (sección 4.4.) Finalmente, nuestra caracterización de los sistemas vivientes no es dogma sino postulado (o sea hipótesis), que se puede descartar o corregir y mejorar a la luz de futuras investigaciones.

2. Aunque todo sistema tiene una frontera más o menos definida que lo separa de su entorno (Bunge, 1979a, 1983c, 1992), la frontera de los sistemas vivientes es peculiar porque en última instancia involucra una biomembrana –incluso si ésta está revestida de una pared de celulosa, una capa de cera o cuerno, una valva o lo que fuere. Como esta frontera comparativamente precisa restringe el intercambio de sustancias con el medio ambiente, los biosistemas son sistemas semiabiertos, aunque a menudo se diga que son sistemas abiertos. En general, un ***sistema semiabierto*** es uno que tiene una frontera que restringe la clase de intercambios entre los componentes del sistema y los ítems de su entorno. Por esto es que los biosistemas interactúan ***selectivamente*** con los ítems ambientales.

3. No todas las funciones (propiedades y actividades) que atribuimos a un biosistema son efectivamente llevadas a cabo por él en todo momento durante su historia de vida. El metabolismo puede quedar temporalmente reducido o quizá suspendido por entero, como es el caso de las esporas o semillas en estado latente, o durante la anabiosis. Así, algunas de las propiedades de los biosistemas son disposiciones que pueden realizarse en circunstancias favorables.

4. No tenemos uso para ciertas nociones en boga, tales como la de "estructu-

ra disipativa", tomada de la termodinámica irreversible, porque también caracterizan a muchos sistemas no vivientes y por esto son demasiado generales para distinguir las cosas vivas de las no vivas. (Más sobre termodinámica y evolución en la sección 9.3.4.) De la misma manera, tampoco tenemos uso para el término 'autorreferencia', porque consistentemente restringimos a la semántica el uso de la noción de referencia. Hay términos tales como 'retroalimentación', 'autorregulación' y 'homeostasis', más adecuados para denotar las propiedades a las que usualmente se hace referencia con el término 'autorreferencia'. Finalmente, nos abstenemos de usar el término 'autopoyesis' (Varela *et al.*, 1974) porque parece no ser más que un sinónimo extravagante de 'autoorganización' y 'automantenimiento'.

5. Algunos autores creen que una caracterización de los sistemas vivientes debería incluir referencia a su origen, su historia evolutiva o al menos la propiedad de evolucionar. Disentimos, porque "estar vivo" es una propiedad intrínseca de un biosistema, de manera que el origen y la historia de éste son irrelevantes. Ya sea que un sistema se origine a partir de autoensamblaje de precursores abióticos (es decir, por neobiogénesis), haya sido sintetizado *in vitro* o descienda de biosistemas que ya existen, no incide sobre su estatus de sistema viviente. (No hace falta decir que cualquier origen a partir de un acto de creación sobrenatural queda excluido por una ontología naturalista. Sin embargo, aun semejante sistema estaría vivo, siempre y cuando tuviera la composición, entorno y estructura necesarios.) Lo mismo vale para la disposición a evolucionar. Por supuesto, si los biosistemas careciesen de esta facultad no habría hoy biólogos ni objetos de investigación biológica. Aun así, la facultad de evolucionar no es una propiedad necesaria ni suficiente de un biosistema.

Nótese también que la propiedad de la ascendencia no sólo resulta irrelevante por la razón dada en el párrafo precedente. También es inaplicable al ser fácticamente falsa. En rigor, una caracterización de los sistemas vivos mediante la propiedad relacional de la descendencia, tal como en el axioma "todo biosistema desciende de un biosistema" (recuérdese el principio clásico *omne vivum e vivo*), implicaría que hay una secuencia infinita de biosistemas. Sin embargo, como el universo y por lo tanto nuestro planeta son espaciotemporalmente finitos, debemos asumir la (pasada) existencia de al menos un primer sistema viviente.

6. Muchos biólogos habrán esperado encontrar la capacidad de autorreproducirse entre las propiedades listadas en el postulado 4.1. (Véase también Bunge, 1979a). Después de todo, la reproducción es esencial para la evolución, y resulta muy verosímil que la capacidad de autorreplicarse fuera una característica fundamental de los primeros biosistemas en nuestro planeta. Sin embargo, existen varias razones por las cuales pensamos que la reproducibilidad no es una propiedad de un sistema necesaria para que pueda ser considerado un biosistema. La razón más importante es que muchos biosistemas simplemente no son capaces de autorreproducirse: piénsese en la mayoría de los subsistemas viventes de los organismos, tales como tejidos y órganos, incluyendo el sistema reproductivo, de haberlo. Incluso no todos los organismos son capaces de autorreproducción, tal

como ciertos híbridos o los miembros de ciertas castas de insectos. Más aún, los llamados organismos de reproducción sexual no se autorreproducen realmente: lo que produce la progenie no es el individuo sino la pareja sexual; y al hacerlo no se autorreproduce en realidad -no produce otra pareja sexual- sino que produce uno o más organismos de la misma especie. Finalmente, nuestra caracterización es ontológica, no taxonómica ni filogenética. Esto es, aunque una definición taxonómica del grupo monofilético Vida (sobre la Tierra) bien puede tener que ver con la autorreplicabilidad, una caracterización ontológica de los biosistemas no necesariamente. (En la sección 7.2.2.2 se aclarará por qué sí se cumple lo primero.)

Sin embargo, si estas consideraciones parecieran insuficientes, nada impide que tanto los biólogos como los ontólogos añadan al postulado 4.1 una cláusula extra referida a la capacidad de autorreproducirse. No obstante, a fin de ser razonablemente comprensivos, semejante cláusula debería leerse como sigue: "*b*, o algunos subsistemas de *b*, o *b* junto con algún otro sistema *c* en *B*, en algún tiempo durante su historia, son capaces de producir un sistema de un mismo tipo o parte de un sistema del mismo tipo".

Si se adopta el postulado 4.1, incluso con algunas reservas, entonces debe admitirse que aunque los sistemas bióticos hayan emergido al final de un largo proceso evolutivo prebiótico, su aparición fue un salto cualitativo -tanto como la formación de una molécula a partir de los átomos. (Véase también Weiss, 1973.) En una ontología emergentista sistémica *natura facit saltus*, por pequeños que puedan ser.

Esto responde la vieja pregunta en biología y en su filosofía de si hay un límite entre los sistemas vivos y los no vivos. Por ejemplo, más de un biólogo molecular afirma que no hay tal línea, sino sólo un continuo entre biomoléculas, viroides, virus, células y organismos multicelulares. A tal punto es así que a menudo se cree que el origen de las moléculas replicantes, en particular el ARN, marca el comienzo de la vida (p. ej. Eigen *et al.*, 1981). Sin embargo, de acuerdo con el postulado 4.1, la propiedad de autorreplicabilidad no es siquiera necesaria para que un sistema esté vivo. Así, sólo la combinación de moléculas de ácidos nucleicos con sistemas metabolizantes marca el "comienzo de la vida" o, más precisamente, la emergencia de los primeros biosistemas sobre la Tierra. (Para ser consistentemente pedantes: al no ser una entidad, la vida no tiene comienzo ni fin. A lo sumo, tiene un primer y un último miembro.) Así, la pregunta de si las moléculas replicantes evolucionaron primero y los sistemas metabolizantes después, o si se originaron en el orden inverso, resulta irrelevante para el problema de la vida. (Más sobre el particular en Küppers, 1979; Dyson, 1985.) En consecuencia, no hubo un origen múltiple de la vida (en nuestro planeta), aun cuando los componentes prebióticos de los sistemas vivos hayan entrado en la existencia independientemente unos de otros. En otras palabras, no importa cuán graduales hayan sido la evolución molecular y la biogénesis, la emergencia de cada propiedad nueva o sistémica es un salto. Si no, hay que negar por completo la novedad cualitativa. Así, de nuestra caracterización se sigue que *hay* una línea divisoria, por delgada que sea, entre lo viviente y lo no viviente, tal como la hay entre átomos y moléculas.

Para evitar esta conclusión sólo hay dos alternativas extremas. La primera es el *fisicalismo* o *reduccionismo radical*, de acuerdo con el cual toda cosa es meramente física, aunque quizás altamente compleja. Los reduccionistas radicales rechazan la distinción cualitativa entre cosas vivientes y no vivientes sólo ante el peligro de negar sus propias vidas. Más aún, resulta inconsistente negar una distinción entre cosas vivas y no vivas y al mismo tiempo denominarse *biólogo* (en vez de físico o químico.) Por ejemplo, Keosian (1974) y Dennett (1995) niegan que haya una frontera entre lo viviente y lo no viviente, pero meditan sobre el origen de la vida. Sin embargo, sólo se puede especular sobre el origen de algo si se tiene una idea de qué es este algo, lo cual sólo es posible si es diferente de todo lo demás.

La segunda alternativa es el *hilozoísmo*, que entiende que toda cosa está viva. (En la actualidad esta idea sólo está cobrando fuerza en el campo New Age. A fuer de ser justos con los presocráticos, tal vez deberíamos llamar a esta versión *neohilozoísmo*.) Al atribuir a todo la propiedad de estar vivo, el neohilozoísmo vuelve trivial y superfluo el concepto de vida, si no es que incomprensible. En rigor, a fin de trazar la obvia distinción entre cosas vivas y no vivas, el hilozoísta debe asumir que los biosistemas de alguna manera están "más vivos" que las otras cosas; esto es, que hay "grados de vida" o "grados de ser" (p. ej., à la Jeuken, 1975). Si tomásemos en serio estas ideas, deberíamos decir que los muertos no están muertos sino sólo un poco menos vivos que los vivos.

4.3 BIOSISTEMA ELEMENTAL, BIOSISTEMA COMPUESTO Y ORGANISMO

Habiendo postulado que estar vivo es una propiedad emergente de ciertos sistemas con determinada composición, ambiente y estructura, ahora podemos intentar identificar la más pequeña "unidad de vida" o la más pequeña "unidad de materia viviente". Sin embargo, como estas expresiones son metafóricas, convendría introducir un concepto más exacto. Éste será la noción de biosistema elemental, que queda dilucidada por:

DEFINICIÓN 4.3. Un biosistema elemental es cualquiera tal que ninguno de sus componentes es un biosistema. (Más precisamente, $x \in B_e =_{df} x \in B \ \& \ \forall y \ (y \in C(x) \Rightarrow y \notin B)$, donde B_e designa al conjunto de todos los biosistemas elementales, B el conjunto de todos los biosistemas y $C(x)$ la composición de un sistema x.)

Por lo tanto, ¿qué entidades son, en realidad, biosistemas elementales? Examinemos varios candidatos. De acuerdo con el postulado 4.1, los virus no están vivos porque no metabolizan. En otras palabras, no funcionan para nada fuera de una célula hospedante –a tal punto que los agregados de virus independientes a menudo son cristales. Sólo está vivo el sistema célula hospedante-virus. (Véase también Weiss, 1973.) Lo mismo vale para otros parásitos intracelulares, tales co-

mo las clamidias. En lo que respecta a los componentes subcelulares propiamente dichos de las células procarióticas, está claro que no poseen todas las propiedades listadas en el postulado 4.1.

La situación es más complicada en el caso de las células eucarióticas. Las mitocondrias y cloroplastos, por ejemplo, poseen muchas de las propiedades listadas en el postulado 4.1. En particular, tienen su propio material genético. Éste, sin embargo, no es autónomo en el sentido de regular todas las funciones del sistema. En verdad, sólo algunas funciones son reguladas por el sistema génico mitocondrial, mientras que otras son reguladas por el sistema génico nuclear (Thorpe, 1984.) En suma, un par de propiedades -no importa cuán importantes sean- no basta para caracterizar un biosistema. Sólo la posesión *conjunta* de todas las propiedades listadas en el postulado 4.1 es necesaria y suficiente -hasta nuevo aviso. Parece, entonces, que como ni los virus ni ningún componente subcelular propiamente dicho son biosistemas, la célula es la "mínima unidad de la vida". Expresamos esto en:

POSTULADO 4.2. Todos los biosistemas elementales son células.

Nótese que, como los biosistemas elementales parecen ser células (o, metafóricamente, como "la vida comienza en el nivel celular"), y la biología es la ciencia de los sistemas vivos, la expresión "biología molecular" es un oxímoron. En otras palabras, puesto que las moléculas no están vivas, no puede haber biología de moléculas. La biología propiamente dicha comienza con la biología celular. Lo que distingue a la biología molecular de la bioquímica es que la primera estudia las moléculas *qua* partes de biosistemas, mientras que la última estudia las (bio) moléculas *qua* moléculas. Si se entiende en este sentido, la expresión 'biología molecular' es inofensiva.

Nótese también que la recíproca del postulado 4.2 no es cierta: no todas las células resultan biosistemas elementales. Por ejemplo, muchos ciliados, clasificados como organismos unicelulares, contienen algas unicelulares simbióticas tales como las zooclorelas. Está claro que estas algas no son sólo biosistemas sino también componentes (esto es, subsistemas) de la célula ciliada. Así, al contener zooclorelas, una célula, por ejemplo de *Stentor* no es un biosistema elemental. Sin embargo, se convierte en tal apenas pierde sus simbiontes. (Nótese que, a la luz de este ejemplo, la definición 4.3 podría precisarse más agregando la noción de tiempo: un biosistema es un biosistema elemental en el tiempo t si y sólo si ninguno de sus componentes es un biosistema en el tiempo t.)

Además de *Stentor*, hay por supuesto muchos más biosistemas, tales como tejidos, órganos y organismos enteros que no son elementales, sino que están compuestos por biosistemas. Así, tenemos que completar la noción de biosistema elemental con la de biosistema compuesto. La definición de este concepto es bastante directa y se lee:

DEFINICIÓN 4.4. Un *biosistema compuesto* es cualquier biosistema compuesto de (al menos dos) biosistemas (elementales.)

Nótense los siguientes puntos. Primero, mientras que la expresión 'sistema compuesto' sería un pleonasmo, ya que un biosistema es por definición una entidad compuesta, la de 'biosistema compuesto', tal como se define aquí, no. En verdad, la definición comprende sólo los componentes (subsistemas) vivientes de los biosistemas, es decir, biosubsistemas. Los componentes no vivos son irrelevantes aquí. Segundo, tal como sucede con los biosistemas elementales, ser un biosistema compuesto puede depender del tiempo. Piénsese en la mayoría de los organismos multicelulares, que comienzan como biosistemas elementales (cigotos) pero pronto se vuelven compuestos. Tercero, de acuerdo con esta definición, los tejidos, órganos, organismos multicelulares y los organismos, tanto unicelulares como multicelulares que contienen otros organismos tales como endosimbiontes o endoparásitos, son todos ellos biosistemas compuestos. Así, el concepto de biosistema compuesto no es cointensivo ni coextensivo con el de organismo. De esta manera, debemos definir este último concepto por separado:

DEFINICIÓN 4.5. Un *organismo* es un biosistema (ya sea elemental o compuesto) que no es un subsistema propio de un biosistema. (Más precisamente, $x \in O =_{df} x \in B \ \& \ \neg(\exists y)\ (y \in B \ \& \ x \lhd y)$, donde O designa el conjunto de todos los organismos y $\lhd$ la relación de ser un subsistema propio.)

En otras palabras (metafóricas), el organismo es la máxima "unidad de la vida". Como esta definición no sólo está lejos de ser obvia, sino también algo insatisfactoria, requiere alguna explicación.

Primero, nótese la expresión 'subsistema propio'. Esto ocurre porque necesitamos distinguir entre subsistemas accidentales o extraños de biosistemas que son biosistemas completos ellos mismos –tales como parásitos o simbiontes– y sus biosubsistemas *propios* –tales como sus propias células y órganos. Por ejemplo, las tenias, trematodos, las zooclorelas mencionadas antes y muchas bacterias son biosubsistemas de ciertos organismos, pero no son sus partes propias. (Para la noción de subsistema recuérdese la definición 1.8.) Así, de acuerdo con la definición 4.5, ellos mismos son organismos. En contraste, tanto algas como hongos son partes propias del supersistema liquen, que así puede considerarse un organismo. Por lo tanto, las algas y hongos en los líquenes son biosistemas, no organismos. Sólo cuando viven por separado son organismos.

Todo esto suena vago, y en verdad se basa más en la intuición biológica que en un concepto preciso de subsistema propio. Nos gustaría haber sido capaces de encontrar una definición satisfactoria de "subsistema propio", a fin de poder elucidar apropiadamente la última antes de introducir la definición 4.5. Por consiguiente, no tuvimos otra opción que presuponer que la noción de subsistema propio era un concepto primitivo.

(Expliquemos brevemente por qué ciertos candidatos para una definición de "subsistema propio" fallan. Una definición de "subsistema propio" parece fácil en el caso de los organismos con reproducción sexual. En verdad, podríamos decir que todos los subsistemas que se desarrollan a partir del cigoto son subsistemas propios de los organismos multicelulares en cuestión. El problema es, sin embar-

go, que algunos organismos de reproducción sexual también se reproducen vegetativamente. Tómese como ejemplo el pólipo de agua dulce *Hydra* que, como *Stentor,* contiene algas unicelulares simbióticas. Ahora bien, los miembros de *Hydra* ocasionalmente producen individuos hijos por gemación. Así, los individuos "nacen" con simbiontes y no se desarrollan a partir de un cigoto. Ejemplos como éstos también impiden una definición de "subsistema propio" en términos de identidad genética. Más aún, partes de un organismo multicelular pueden sufrir mutaciones somáticas o perder material genético, pero siguen siendo sus subsistemas propios. Otra idea sería decir que todo lo que contribuye al funcionamiento normal de un sistema es una parte propia de éste. Sin embargo, por un lado, en esta etapa del análisis no tenemos un concepto de función y mucho menos de normalidad. Por otra, una araña tal como las de la familia Pholcidae que ha perdido una de sus patas sigue funcionando muy bien, pero deberíamos considerar las ocho patas como partes propias de una araña. Lo mismo vale para los órganos vestigiales, tales como el apéndice cecal humano, que todo biólogo consideraría una parte propia de todo miembro de *Homo sapiens,* aunque podemos vivir fácilmente sin él. En suma, resulta muy difícil establecer una definición biológicamente satisfactoria de "subsistema propio de un biosistema".)

Segundo, la definición 4.5 se refiere a una entidad que Haeckel (1866) denominó *bion* (individuo fisiológico) en oposición a *morphon* (individuo morfológico.) De acuerdo con esto, una colonia de individuos morfológicos fisiológicamente interconectados se puede considerar un organismo. Piénsese, por ejemplo, en una mata de fresas o en ciertos corales. Sin embargo, apenas los *morphonta* se separan unos de otros tenemos diferentes organismos (es decir, *bion* = *morphon*). Así, un clon de plantas de fresa no es un organismo sólo porque los individuos se originaron a partir de un cigoto común; tampoco lo es un clon de diente de león, o de áfidos –*pace* Janzen (1977.) Después de todo, no existe el metabolismo a distancia.

Tercero, como el organismo es por definición la mayor entidad viviente, no puede haber nada como un superorganismo que sea en sí mismo un sistema viviente. Así, todos los sistemas supraorganísmicos, tales como las comunidades reproductivas (poblaciones) o grupos sociales, no son entidades vivientes. La colmena, entonces, citada a menudo como ejemplo de superorganismo, no es un sistema viviente. Más aún, no podemos estar de acuerdo con Wilson y Sober (1989), quienes, por ejemplo, consideran que las comunidades son superorganismos porque exhiben una organización funcional. La organización funcional es por cierto una propiedad necesaria pero no suficiente de un biosistema. Así, las comunidades son sistemas pero no biosistemas u organismos. (Véase también von Bertalanffy, 1952.) Por lo tanto, un bosque rebosante de plantas, hongos, animales y bacterias no está vivo. Esto vale, *a fortiori*, para la biosfera y la ecosfera (véanse definiciones 5.2 y 5.4).

Como consecuencia, también la hipótesis Gaia fuerte, esto es, la idea de que la biosfera (en rigor: ecosfera) es un (super)organismo viviente es errónea. Más aún, es engañosa y superflua. Por un lado, inspira a los místicos y cultores de la

New Age (véase Gardner, 1989; Levine, 1993). Por otra, podemos hacer toda la investigación y teoría ecológica sin recurrir a esta noción. En verdad, actualmente el contenido científico de la hipótesis Gaia parece resumirse en la idea de que la ecosfera es un sistema autorregulante (Kump, 1996) –una idea plausible aunque aún *sub judice*. (Para una versión crítica, aunque atomística, véase G.C. Williams, 1992b).

4.4 VIDA ARTIFICIAL

Mientras que es de esperar que muchos biólogos estén más o menos de acuerdo con nuestra caracterización precedente de los biosistemas, cierto grupo de físicos, químicos, ingenieros y tecnólogos de computadoras no estará nada contento con ella; los defensores de la Vida Artificial (VA). Más precisamente, la disconformidad será expresada por quienes defienden el programa de VA *fuerte*, ya que –tal como sucede con la Inteligencia Artificial (IA)– debe distinguirse una versión fuerte y una débil de la VA (Pattee, 1989; Sober, 1991). Mientras que la VA *débil* intenta contribuir a la comprensión de los sistemas vivientes por medio de modelos mecánicos y simulaciones por computadora, los defensores del programa *fuerte* son mucho más ambiciosos: tienen la esperanza de *sintetizar* sistemas vivientes. Sin embargo, la VA fuerte no tiene tanto que ver con la síntesis bioquímica de biosistemas *in vitro*. Más bien, la finalidad de la VA fuerte es sintetizar formas de vida alternativas a la "vida de las cadenas de carbono", tal como la conoce la biología "intentando capturar la esencia conductual de los componentes constitutivos de un sistema vivo, y dotando a una colección de componentes artificiales con repertorios conductuales semejantes. Si se organiza correctamente, el agregado de partes artificiales debería exhibir la misma conducta dinámica que el sistema natural" (Langton, 1989:3).

No desaprobamos la versión débil de la VA (y de manera correspondiente, con la IA) porque modelizar sistemas concretos, ya sea teórica o prácticamente, es una actividad científica legítima (aunque no necesaria), con tal que los modelos y simulaciones sean relevantes, interesantes y fructíferos para resolver problemas biológicos reales. En cambio, creemos que la VA fuerte está equivocada porque descansa sobre presuposiciones ontológicamente defectuosas. (Argumentos similares pueden plantearse contra la IA fuerte.) Por lo tanto, examinemos la VA fuerte más de cerca.

De acuerdo con Langton (1989), uno de los conceptos centrales de la VA es el de conducta emergente. En realidad, tal como vimos en la sección precedente, estar vivo es una propiedad emergente de ciertos sistemas materiales con una composición, ambiente y estructura especiales. La afirmación de la VA es que la composición de los sistemas en cuestión es irrelevante para la emergencia de la propiedad "viviente": "...el estatus ontológico de un proceso viviente es *independiente* del hardware que lo lleva" (Rasmussen, 1991:770). En otras palabras, el enfoque de la VA fuerte, tal como el de la IA, es funcionalista: todo lo que importa-

ría es la organización correcta. En consecuencia, su noción de emergencia es libre de sustancia: es un concepto de "emergencia de la nada". Así, resulta similar al concepto (puramente lógico, no ontológico) de superviniencia, de acuerdo con el cual las (presuntas) propiedades supervinientes de la totalidad son independientes de las propiedades de sus componentes (véase sección 1.7.3).

El problema con esta interpretación es que las propiedades emergentes de un sistema, y por lo tanto los procesos que puede sufrir, dependen legalmente de las propiedades de sus componentes. Por ejemplo, cuando una molécula de oxígeno se combina con un átomo de carbono, resulta CO_2 y cuando combinamos la primera con un átomo de silicio obtenemos SiO_2. Los productos de la reacción tienen diferentes propiedades emergentes aunque el carbono y el silicio compartan algunas propiedades físicas y químicas, de tal manera que pertenecen al mismo género –el llamado grupo del carbono– en la tabla periódica. Sin embargo, a presión y temperatura normales, un agregado de moléculas de CO_2 es un gas, mientras que un agregado de moléculas de SiO_2 es un cuerpo sólido (cristal de cuarzo.) Por lo tanto, la combinación de las moléculas en sistemas más y más complejos resultará en totalidades que poseen propiedades emergentes muy diferentes. Sostenemos que lo mismo es cierto para la silicona (SiO), aunque comparte ciertas propiedades con el carbono. Así, la materia importa después de todo. (Por lo menos algunos críticos de la VA comparten una opinión semejante: véase Emmeche, 1992.) Por lo tanto, no importa qué materiales no bioquímicos se usen para sintetizar vida artificial, tememos que emergerá cualquier cosa menos un sistema viviente: imitar una u otra propiedad emergente de un biosistema no basta para crear un biosistema propiamente dicho.

Además del problema ontológico de la emergencia, la VA se enfrenta al siguiente problema epistemológico. Los biosistemas de nuestro planeta son las únicas cosas vivientes que conocemos. Por eso no importa qué sistema artificial se presuma que exhibe alguna propiedad o propiedades de los biosistemas (genuinos), sólo se puede comparar con los biosistemas conocidos por los biólogos. Así, los tecnólogos de la VA no pueden demostrar que han tenido éxito en construir formas de vida genuinamente *alternativas*, porque de tales sistemas artificiales –si exhiben otras propiedades emergentes que las que se conocen para la vida en la Tierra– sólo *por definición* podría decirse que están vivos: no se *descubriría* que están vivos sino que se les *declararía* vivos. Así, *pace* Langton, no sólo es "extremadamente difícil" distinguir las propiedades universales de los biosistemas (tales como podrían ser) de aquéllas comunes a la vida en nuestro planeta: resulta *de facto* imposible. Puesto que la *vida-tal-como-podría-ser* de la VA es de hecho *vida-por-definición*, la VA fuerte resulta irrelevante para la biología teórica.

Sin embargo, volvamos a la ontología, porque todavía hay huesos metafísicos que pelar en la VA fuerte o, más precisamente, en la versión informática de la VA fuerte. Mientras que la VA fuerte en general tiene que ver con la creación de vida artificial en cualquier sustrato, su versión computacional afirma que más que ciertas máquinas son algunos procesos de computación los que podrían estar vivos. Por ejemplo, considérense las siguientes declaraciones de Langton (1989):

[la VA intenta]...sintetizar conductas semejantes a la vida en computadoras y otros medios artificiales (p. 1).

[la VA]... ve a la vida como una propiedad de la organización de la materia, antes que una propiedad de la materia organizada de esa manera. Mientras que la biología en gran medida ha estado interesada en la base *material* de la vida, Vida Artificial se interesa en la base *formal* de la vida (p. 2).

Se afirma lo siguiente. Lo 'artificial' en la Vida Artificial se refiere a las partes componentes, no al proceso emergente, no a los procesos emergentes. Si las partes componentes están correctamente implementadas, los procesos a los que sirven de soporte son *genuinos* -parte por parte tan genuinos como los procesos que imitan. La *gran* afirmación es que un conjunto apropiadamente organizado de primitivos artificiales que desempeñan los mismos papeles funcionales que las biomoléculas en los sistemas vivos naturales servirán de soporte a un proceso que estará "vivo" de la misma manera en que los organismos naturales están vivos. La Vida Artificial será por lo tanto *vida genuina* -simplemente estará hecha de una sustancia diferente de la que la vida que ha evolucionado aquí en la Tierra (p. 33).

Claramente, todo esto rezuma platonismo. Tal como los dualistas mente-cerebro hablan de la base material de la mente (véase capítulo 6), como si los seres humanos fueran edificios de dos plantas, lo mismo hace la VA con respecto a la vida. Para ellos la vida parece ser una forma inmaterial que es "realizada" o "ejemplificada" o "corporizada" en ciertos sistemas materiales. Curiosamente, sin embargo, Langton también habla de la base *formal* de la vida, lo que sugiere que la vida también puede ser ejemplificada en forma. ¿Es entonces la vida una tercera categoría además de la materia y la forma? En cualquier caso, la opción materialista-emergentista, de acuerdo con la cual las propiedades no son separables de las cosas, y la vida es una colección de sistemas materiales especialmente estructurados (formados) y por lo tanto particularmente cambiantes (es decir, vivientes), parece inaceptable para la VA.

De acuerdo con la segunda cita de Langton, estar vivo no es una propiedad (sustancial) de un sistema material sino una propiedad de una propiedad -su organización (estructura.) Esto presupone una ontología que considere propiedades sustanciales de segundo orden. (Recuérdese que sólo admitimos predicados, no propiedades, de segundo orden: véase sección 1.3.3.) En contraste, de acuerdo con la tercera cita (así como la cita anterior de Rasmussen), estar vivo es una propiedad de un proceso. Ahora bien, los procesos involucran propiedades pero no tienen ninguna: recuérdese que los procesos son secuencias de eventos, que son cambios en el estado de las cosas, que involucran propiedades de cosas (secciones 1.3-5). Por esta razón, hablar de propiedades de procesos es una abstracción: sólo las cosas cambiantes tienen propiedades. Por ejemplo, la velocidad es una propiedad de una cosa que se mueve, no una propiedad de su movimiento. Similarmente, estar vivo no es una propiedad de un proceso, tal como el me-

tabolismo, sino una propiedad de un sistema cambiante (es decir, metabolizante.) En verdad, un organismo (natural) no *es* un proceso, *sufre* procesos.

Como en nuestra ontología un proceso de computadora es una secuencia de cambios de estado de una computadora, sólo la computadora como totalidad específicamente estructurada (programada) podría ser la entidad (artificial) que poseyera la propiedad de estar vivo. Decir, entonces, "*x* vive" significa que una *cosa x* -ya sea organismo o computadora- sufre, en virtud de sus propiedades y por lo tanto sus estados, un cierto proceso (en lugar de otro.) Este proceso es la vida (es decir, historia) de *x*. Así, la afirmación de la VA de que un proceso en una computadora *x*, en vez de la misma computadora *x*, está vivo equivale a decir algo como 'La vida de *x* vive', que por supuesto tiene tan poco sentido como la oración 'El movimiento de la cosa *x* se mueve'.

¿Qué significa decir que las partes artificiales correctamente implementadas servirán de soporte a procesos que serán parte por parte tan genuinos como los procesos a los que imitan? Primero que nada, esta declaración presupone que los procesos son separables de las cosas -de otra forma, distintos sistemas no podrían "servir de soporte" al mismo proceso. (Aquí, 'genuino' parece significar "mismo" o "idéntico".) De acuerdo con nuestra ontología, dos cosas no pueden sufrir (exactamente) el mismo proceso, porque un proceso es una secuencia de cambios de estado de una cosa. Sin embargo, dos cosas equivalentes en ciertos aspectos, por ejemplo, cosas del mismo tipo, por supuesto podrán sufrir procesos equivalentes. Por eso es que podemos abstraer *clases de procesos* de las cosas cambiantes que son equivalentes en ciertos aspectos. Ejemplos: metabolismo, evolución, selección. Así, la pregunta correcta es si ciertas computadoras especialmente estructuradas (es decir, programadas) son suficientemente equivalentes a los biosistemas como para ser capaces de sufrir cambios que pertenezcan a la misma clase de procesos (es decir, vida.)

Segundo, hay una seria confusión semántica y ontológica al no distinguir una imitación (o simulación) de la cosa o proceso imitados. ¿Cómo puede una imitación (o simulación) ser tan genuina como el proceso (o sistema) que imita? Así Langton olvida el significado del concepto "imitación", o bien tiene acceso a una metafísica prodigiosa en la que no hay distinción entre un modelo y la cosa modelada. Como Pattee (1989:68) expresó sucintamente: "Una simulación que se vuelve cada vez más 'semejante a la vida' no llega a convertirse, en algún grado de perfeccionamiento, en una realización de la vida". Peor aún, si la opinión de Langton fuera verdadera, podríamos obrar milagros. Por ejemplo, como es posible simular o modelizar sistemas no existentes, tal como un sistema planetario geocéntrico, podríamos hasta realizar no-existentes. Si tomamos en serio la VA fuerte, el sistema planetario geocéntrico computacional "realizado" sería tan genuino como el no existente que imita. El problema es, por supuesto: ¿Qué son una cosa o proceso no existentes *genuinos*? Dado este genuino sinsentido -al menos desde la perspectiva del materialismo científico- no debe sorprender que la VA busque la salvación en una versión del idealismo objetivo tal como el platonismo informacionista de J. A. Wheeler, de acuerdo con el cual (a) el cálculo de proposiciones se considera "la

base de todo", (b) la física podría formularse en términos de teoría de la información, y –por último, pero no por ello menos importante– (c) "La materia [....] puede derivarse del procesamiento de información" (Rasmussen, 1991:771.) En verdad, estos supuestos básicos "deben ser verdaderos si las afirmaciones mayores han de ser ciertas" (Langton, 1991: 20.) *Sapienti sat.* (No resulta sorprendente que el centro de la investigación de la VA sea el Instituto *Santa Fe*: después de todo, "santa fe" significa "fe sagrada". Una buena dosis de ésta es justamente lo que se necesita para creer en el programa de la VA fuerte.)

Para concluir, la VA débil –si apunta a resolver problemas biológicos (reales) por medio de la simulación por computadora o modelos mecánicos (en vez de sólo jugar juegos de computadora)– es inobjetable. En contraste, aunque por supuesto no podemos desechar que, en un planeta extraño, haya sistemas vivientes de composición y estructura algo diferentes de las que la biología conoce, la VA fuerte parece adolecer de fallas y confusión más allá de todo posible arreglo, y ser por consiguiente un desperdicio de energía, tiempo y dinero. Por eso regresemos rápidamente a la biología real.

4.5 BIOESPECIE Y BIOPOBLACIÓN

Es bien sabido que los organismos pueden ensamblarse para formar agregados o sistemas –a menudo denominados 'individuos de orden superior'–, tales como grupos, demes, poblaciones, avatares, comunidades, etc. No hace falta decir que no hay acuerdo en lo que respecta a la caracterización adecuada de estas entidades (véase, p. ej., MacMahon *et al.*, 1978, 1981; Bunge, 1979a; Damuth, 1985; Eldredge, 1985a; Salthe, 1985). En particular, el término 'población' es muy ambiguo. Puede significar (a) una *población estadística*, es decir, una mera colección de individuos, tal como en las expresiones 'la población de gorilas y ballenas' y 'la población de niños infectados por SIDA en 1997'; o (b) un *agregado* (o montón) de individuos, tal como en las expresiones 'la población bacteriana en esta cápsula de Petri' o 'la población de peces en este estanque'; o (c) un *sistema* de individuos, como en el caso de las comunidades reproductivas o las sociedades animales.

En lo que respecta a (a), como las poblaciones estadísticas son colecciones o clases, tienen miembros en vez de partes. Así, las poblaciones estadísticas no son entidades concretas, sino que se les construye de acuerdo con algún interés investigativo. En lo que respecta a (b), los organismos en cuestión sólo ocupan casualmente la misma localidad sin estar acoplados por relaciones vinculantes (véase definición 1.7). De este modo, forman un agregado de organismos –un montón– pero no un sistema. La mera proximidad espacial de los organismos no garantiza que se encuentren unidos por relaciones biológicas. Por esta razón, no existe una "integración espacial" de una población –*pace* Damuth (1985.) Aun así, los agregados son cosas. Para constituir un sistema, sin embargo, los organismos en cuestión deben estar vinculados de alguna manera por lazos biológicos. Sólo de

esta forma su ensamblaje puede llevar a una entidad cohesiva e integrada, esto es, un sistema. Tales vínculos pueden, por ejemplo, consistir en relaciones de apareamiento, tal como en las comunidades reproductivas, o en relaciones sociales o simbióticas.

Ahora bien, los agregados y sistemas de organismos, es decir, poblaciones concretas, pueden estar constituidos por organismos de la misma o de diferentes especies. En otras palabras, hay agregados y sistemas de organismos uniespecíficos y multiespecíficos. Al ser así, el concepto de especie tiene prioridad lógica sobre (y es independiente de) cualquier concepto de agregado y sistema de organismos -en particular del de población. De esta manera, una elucidación del concepto de población-como-individuo-concreto compuesta de organismos debe ser precedida por una definición del concepto de especie. Entonces, propongamos tal definición del concepto de especie biológica, o en forma abreviada *bioespecie*, donde el prefijo *bio-* se debe sólo a que tratamos con especies de *biosistemas*: no implica ninguna relación con el concepto clásico de bioespecie de Mayr, el cual se analiza más ampliamente en la sección 7.3.1.1. Nuestra definición de "bioespecie" se lee como sigue:

DEFINICIÓN 4.6. Una especie es una *bioespecie* si y sólo si,
(i) es un tipo natural (en vez de una colección arbitraria); y
(ii) todos sus miembros son organismos (presentes, pasados o futuros.)

Esta definición de bioespecie como clase contradice evidentemente la difundida opinión de que las especies biológicas son de alguna manera individuos concretos (véanse, p. ej., Ghiselin, 1974, 1981, 1984: Hull, 1976, 1978, 1988; Mayr, 1982, 1988; Rosenberg, 1985; Sober, 1993.) Como trataremos de especies y taxones en general en el capítulo 7, aquí puede resultar suficiente destacar que, tal como cualquier otra especie, una bioespecie es una colección y por lo tanto un objeto conceptual. Sin embargo, como también veremos en el capítulo 7, las especies biológicas no son tipos naturales en el sentido tradicional, por lo que deberemos concebir una definición de "tipo" a tono con la biología evolutiva.

En cualquier caso, por razones lógicas necesitamos un concepto de especie-como-tipo, porque la noción de especie como tipo precede lógicamente a cualquier noción de agregado superorganísmico o sistema compuesto de organismos. Como se mencionó antes, una entidad superorganísmica semejante que no es una colección de organismos sino un agregado o un sistema de tales es una población biológica. Más precisamente, proponemos:

DEFINICIÓN 4.7. Un agregado, o sistema concreto, de organismos es una *biopoblación* si y sólo si está compuesto de organismos de la misma bioespecie (esto es, si su composición es uniespecífica.)

Para ser más precisos, la composición uniespecífica de una biopoblación puede formalizarse como sigue: si S designa a una especie de organismos, y p a una

biopoblación, entonces la composición de p en el nivel organísmico O puede escribirse $C_O(p) \subsetneq S$. Además de las poblaciones uniespecíficas también hay poblaciones multiespecíficas tales como las comunidades. Trateremos de dichos sistemas multiespecíficos en la sección 5.1.

Nótense los siguientes puntos acerca de la definición 4.7. Primero, en la medida en que las biopoblaciones son sistemas, no nos importa la naturaleza del vínculo entre sus componentes. Así, nuestra definición de "biopoblación" incluye una vasta serie de totalidades más o menos cohesivas: desde el sistema mínimo de una pareja reproductiva, pasando por los grupos sociales y demes, hasta la llamada biopoblación máximamente inclusiva, a menudo erróneamente denominada 'especie'. (Para una comparación de diferentes conceptos de población en biología, véase Jonckers, 1973.)

Segundo, una posible trampa originada en la ambigüedad del término 'población' es la siguiente. A menudo resulta útil tratar la composición de una biopoblación –un sistema concreto– como una población estadística –por ejemplo, una colección cuando se calculan valores promedio de aptitud de los organismos. Tales promedios son atributos de la población estadística, esto es, la colección de organismos en cuestión, pero no son propiedades sustanciales de la biopoblación como una totalidad o individuo concreto. Por ejemplo, no es la biopoblación de secuoyas de California como un individuo concreto la que tiene una altura promedio. Cuidado de confundir agregados y sistemas –cosas concretas– con su composición –una colección. Sostenemos que parte del problema de si las poblaciones son individuos o clases, o tal vez ambos (p. ej., Van Valen, 1976a), parece descansar sobre esta confusión.

Habiendo tratado hasta ahora con sistemas biológicos de una manera bastante estática, procedemos a dar una mirada a los cambios que los biosistemas experimentan, esto es, las actividades o funciones de los sistemas vivientes.

4.6 FUNCIÓN BIOLÓGICA Y ROL BIOLÓGICO

Tal como en el lenguaje ordinario, en biología el concepto de función está muy cargado de connotaciones teleológicas. A tal punto que a menudo el término 'función' puede remplazarse por 'propósito' sin alteración en el significado. En cambio, la mayoría de los autores se esfuerza en señalar que, cuando usan la noción de función, no invocan intención ni propósito. Tal como sucede con la teleología en general, se asegura que hablar de funciones en biología es al mismo tiempo legítimamente teleológico, pero de alguna manera no lo es realmente. Nuestro objetivo es, entonces, analizar los conceptos de función y rol, a fin de descubrir si tienen algún significado teleológico.

Seguiremos las sugerencias anteriores, a fin de distinguir entre la función de un subsistema de un biosistema y su rol biológico (véase, p. ej. Woodger, 1929; Bock y von Wahlert,1965; Pirlot y Bernier, 1973; Bernier y Pirlot, 1977; Amund-

son y Lauder, 1994.) Hablando toscamente, la *función* de semejante subsistema es lo que éste hace: su *funcionamiento* o *actividad*. En otras palabras, la función de un órgano dado es el conjunto de procesos que ocurren en ese órgano (Bunge, 1979a, b). Más precisamente, proponemos:

DEFINICIÓN 4.8. Denote b un organismo, y $a \lhd b$ un subsistema de b de tipo A. Además, denomínese $\pi(a)$ a la totalidad de los procesos o actividades que a está sufriendo durante un cierto período. Entonces

(i) cualquier subconjunto de $\pi(a)$ que incluya cualquiera de los procesos listados en el postulado 4.1 (así como reproducción, si la hay), o que los afecta de alguna manera, es una *función biológica*;

(ii) las funciones biológicas *específicas* π_S de a son aquellas realizadas por a y sus semejantes (es decir, por los miembros de A) pero no por otros subsistemas de b. (Más precisamente, $\pi_S(a) = \pi(a) - \bigcup_{x \lhd b} \pi(x)$, con $a \neq x \lhd b \;\&\; x \notin A$.)

Ejemplo 1. Comencemos con un ejemplo poco familiar porque podría verse más objetivamente que cualquiera de los famosos ejemplos de la literatura sobre función y teleología. Los miembros del taxón de insectos Heteroptera, las llamadas *chinches verdaderas*, se caracterizan por la posesión de una glándula odorífera torácica (Schuh y Slater 1995.) En un subtaxón con miembros acuáticos, las notonectas pigmeas, esta glándula produce una secreción que contiene peróxido de hidrógeno (Maschwitz 1971.) De acuerdo con la definición 4.8, todos los procesos involucrados en la producción, almacenamiento y liberación de esa secreción constituyen la *función* o *actividad* específica de esta glándula.

Ahora bien, de vez en cuando la secreción de la glándula es esparcida sobre la superficie corporal mediante una conducta denominada 'acicalamiento de secreción' (Kovac y Maschwitz 1989.) La secreción tiene un efecto antiséptico y protege así la fina capa de pelo de los insectos de la contaminación con microorganismos que podría interferir en su capacidad para almacenar aire, lo que a su vez afectaría la respiración. Esto es lo que la glándula hace en relación con los supersistemas en los que está inmersa. En otras palabras, éste es el *rol biológico* de la glándula. (Así, en las chinches acuáticas no es una glándula *odorífera* propiamente dicha.)

Como la secreción de las glándulas odoríferas torácicas entre otras chinches acuáticas es diferente de la de las notonectas pigmeas, es verosímil que la función de la glándula de las primeras también sea diferente. Esto se debe a que usualmente las diferentes secreciones serán producidas por distintos procesos bioquímicos. Sin embargo el rol de las glándulas es el mismo, esto es, la secreción se usa como una solución antiséptica. En algunas chinches terrestres, en cambio, la glándula es a menudo una genuina glándula odorífera porque su secreción puede ser utilizada como repelente. En resumen, un órgano de cierto tipo que caracteriza a un taxón dado puede ejercer diferentes funciones y roles en los miembros de diferentes subtaxones. (Véase también Mahner 1993b.)

Ejemplo 2. Luego de este inocente caso, vayamos a uno de los más famosos

ejemplos en la literatura. La mayoría de los creyentes en la teleología sostiene que la función del corazón (de los mamíferos) sería la circulación de la sangre pero no la producción de sonidos cardiacos (véase el sitio clásico Hempel, 1965; para una temprana opinión disidente véase Bernier y Pirlot, 1977.) De acuerdo con la definición 4.8, es exactamente lo contrario. La función (actividad) del corazón consiste en la ejecución de contracciones rítmicas, pero no en la circulación de la sangre. Éste es el *rol* que el corazón cumple en el sistema circulatorio, así como en el organismo, es decir, en el supersistema del que forma parte. En contraste, una de las actividades del corazón es claramente la producción de sonidos. La pregunta, sin embargo, es si esta función desempeña algún rol significativo en la naturaleza, esto es, en un contexto no médico.

Ejemplo 3. ¿Cuál es la función de las astas de un ciervo? Aparentemente, las astas no muestran actividades o procesos significativos aparte de los consistentes en el mantenimiento y desarrollo de este órgano. Así, son órganos (casi) sin función. Sin embargo, cumplen –en virtud de su mera presencia– un importante rol en la vida social del individuo. En una categoría similar se hallan, por ejemplo, el cuerno del rinoceronte, las coberteras caudales del pavo real, las conchas de mejillones y tortugas, etcétera.

Ejemplo 4. El apéndice cecal humano se considera usualmente un órgano sin función porque ya no ayuda a degradar la celulosa. Sin embargo, pese a su carácter vestigial el apéndice no carece de función: contiene tejido linfático y lleva a cabo actividades inmunológicas. Lo que es cierto es que sólo cumple un rol despreciable en el sistema inmune del cuerpo, de manera que su pérdida mediante remoción quirúrgica apenas si afecta la supervivencia o vitalidad de una persona. Pero por pequeño que pueda ser cualquier rol de un órgano, sigue siendo un rol.

A partir de los ejemplos precedentes, podemos concluir que, en términos estrictos, no hay rasgos sin función (actividad, *Funktionieren, fonctionnement*) y rol biológico (*Fungieren, fonction*) algunos. Sin embargo, hay rasgos de los biosistemas sin función *significativa* (o importante) pero con un rol significativo, y hay rasgos que no tienen función ni rol significativos. Subsiste empero el problema de cómo se ha de caracterizar o medir esta significancia. Más aún, resultará evidente que a lo que llamamos 'rol biológico' usualmente se lo denomina 'función'. Como este sentido de 'función' se asocia fácilmente con 'propósito', ya sea literalmente o por analogía, es una fuente principal de disputa biofilosófica. Por lo tanto, eliminar este sentido teleológico de 'función' es un primer paso hacia la clarificación.

Los ejemplos precedentes han utilizado el concepto de rol biológico sólo intuitivamente, asumiendo que el rol de un rasgo es lo que hace un supersistema dado. De acuerdo con esto, mientras que la función de un rasgo puede entenderse como una propiedad intrínseca del sistema en cuestión, su rol biológico es una propiedad relacional. Esto es, el rol de un sistema puede entenderse sólo en relación con un supersistema del que forma parte. Así, sugerimos:

DEFINICIÓN 4.9. Denoten b un subsistema, y $a \lhd b$ un subsistema de b del tipo A, y e un supersistema o un ítem ambiental de a o b. Entonces,

(i) el *rol biológico* de *a* en *e*, o en relación con *e*, es el conjunto de relaciones o interacciones vinculantes entre *a* y *e*, esto es, su estructura externa vinculante;

(ii) el rol específico de *a* es el conjunto de relaciones o interacciones vinculantes entre *a* y *e* que sólo *a* y sus semejantes, esto es, los miembros de *A*, son capaces de mantener, pero ningún otro subsistema de *b*.

Nótense los siguientes puntos. Primero, en contradicción con la concepción de rol sugerida por Bock y von Wahlert (1965), la nuestra no sólo comprende roles ecológicos sino también roles intraorganísmicos tales como los mecánicos o fisiológicos.

Segundo, ni el concepto de biofunción ni el de biorrol tienen connotaciones teleológicas, contrariamente a lo implícito en la noción tradicional de "función propia" de un órgano. Esto es, en nuestra concepción ni la función (específica) ni el rol (específico) de un órgano se consideran lo que "se supone" que hace el órgano o, en otras palabras, el propósito o meta del órgano. Más aún, ni el concepto de función específica ni el de rol específico tienen que ver con normalidad o salud, esto es, con la función normal o rol normal de un órgano.

Tercero, como sugirió Cummins (1975), podríamos también formular nuestras definiciones de 'función' y 'rol' en términos de capacidades o disposiciones antes que de actividades actuales. Esto puede resultar útil si deseamos referirnos a funciones y roles no utilizados. Así, las definiciones 4.8 y 4.9 no implican una ontología actualista: concordamos con Aristóteles en que lo que sea que ocurra, para empezar debe ser posible. Sin embargo, definir "función" y "rol" en términos de capacidades dificulta aplicar la noción de valor biológico a funciones y roles (véase más adelante).

Cuarto, nuestros conceptos de función y rol han sido desarrollados, de esta manera, independientemente de consideraciones evolutivas. En otras palabras, son conceptos ahistóricos. En este aspecto nuestra opinión es muy similar a la de, por ejemplo, Simpson (1953), Cummins (1975), Nagel (1977), Prior (1985), Bigelow y Pargetter (1987), Amundson y Lauder (1994) y Wouters (1995.) Esta interpretación es rechazada por los llamados "etiólogos", que sostienen que sólo las "funciones" (esto es, funciones en nuestro sentido *cum* roles) que son resultado de la selección natural y por ello una adaptación deberían considerarse funciones genuinas o propias. Si una función o rol de un rasgo no es el resultado de la selección, sería un mero "efecto", no una "función" propiamente dicha. (Véanse, p. ej., G.C. Williams, 1966; Ayala, 1970; Wright, 1973, 1976; Brandon, 1981, 1990; Gould y Vrba, 1982; Millikan, 1989; Neander, 1991; Griffiths, 1993.)

Los etiólogos considerarían a la definición 4.9 inadecuada porque -de acuerdo con ella- por ejemplo, sería un rol ("función") de la nariz humana el sostener las gafas. Sin embargo, afirmamos que ésta es justamente la fuerza de la definición respecto de la biología evolutiva: los etiólogos pasan por alto o subestiman el hecho de que las nociones de selección y adaptación presuponen lógicamente la presencia de algo, o sea, un rasgo con cierta función o rol, o ambos, que pueda convertirse en sujeto de selección y adaptación. Como, de acuerdo con la de-

finición 4.9, el rol de un rasgo es independiente de cualquier valor adaptativo, podría cambiarse el rol mediante un cambio en el rasgo mismo, en el ambiente o en ambos. Así, un rasgo puede adquirir de manera más o menos fácil un nuevo rol que luego puede volverse sujeto de selección. Los etiólogos además restan importancia a disciplinas tales como la morfología funcional, la fisiología y la ecología, que no presuponen conocimiento alguno de la evolución. (Véanse también las recientes críticas de la interpretación etiológica por Amundson y Lauder 1994.)

Para llegar a lo que los etiólogos denominan la 'función propia' de un rasgo, debemos suplementar nuestro análisis de los conceptos de función y rol con el concepto de valor biológico.La razón de esto es que el biovalor de un rasgo influirá claramente en el destino de dicho rasgo durante el proceso de selección. Y sólo presuponiendo los conceptos ateleológicos y ahistóricos de función, rol y biovalor podemos proceder a dilucidar la noción de adaptación.

4.7 VALOR BIOLÓGICO

Las funciones y roles biológicos, en particular las funciones y roles específicos de un subsistema de un biosistema, pueden ser valiosos, carentes de valor o indiferentes para el organismo como un todo (Canfield 1964; Ayala 1970; Ruse 1973; Hull 1974; Woodfield 1976; Bunge 1979a, 1989.) Esto es, ellos contribuyen a su salud, vitalidad, funcionamiento o supervivencia dentro de los límites de la historia de vida específica de su especie; o no contribuyen; o bien hasta son perjudiciales para ella. Lo mismo vale para los ítems en el ambiente del organismo. Resumimos esta idea en:

DEFINICIÓN 4.10. Si *a* denota un rasgo (órgano, proceso, rol, etc.) de un organismo *b*, o algún ítem (biótico o abiótico) en el ambiente de *b*, entonces *a* es *valioso* para *b* si y sólo si la posesión de o el acceso a *a* favorece la capacidad de *b* para sobrellevar la historia de vida específica de su especie. De otro modo, *a* es indiferente o carece de valor para *b*.

Nótense los siguientes puntos. Primero, al referirse a la capacidad de un organismo para sobrellevar la historia de vida específica de su especie (o ciclo de vida), esta definición no sólo considera la supervivencia sino también la reproducción, si la hay. En realidad, una definición de "biovalor" sólo en términos de supervivencia debería considerar el sistema reproductivo de un organismo, o la función específica de reproducción respectivamente, inservible para el organismo en cuestión, pues no contribuye a la supervivencia del individuo; o incluso perjudicial, como es el caso de ciertos animales y plantas en los que la cópula o reproducción van seguidas (naturalmente) de la muerte de los organismos parentales: piénsese en las efímeras y el salmón. Un ejemplo más radical son los jejenes de las agallas, pertenecientes a la familia Cecydomyidae (Insecta, Diptera), en

los que la prole permanece dentro de su madre y comienza a devorarla desde dentro después de eclosionar (véase Gould 1977.) Al referirnos al ciclo de vida específico de la especie en nuestra definición de "biovalor", podemos incluso adaptar estos casos como valiosos para el organismo. Al mismo tiempo, nuestra definición excluye una interpretación sociobiológica-geneticista del valor biológico en términos de, digamos, "lo que sea que contribuya a la dispersión de los genes de un organismo".

Segundo, la definición 4.10 se refiere a organismos individuales. Toma en cuenta rasgos que son exclusivos del individuo en cuestión, y de esta manera pueden darle una ventaja o un impedimento. Pero no hace referencia a la biopoblación de la cual el organismo puede ser parte, o a la bioespecie a la que pertenece el individuo. Es necesario dejar claro que los biólogos hablan a menudo de que algo es valioso o carece de valor para una *especie*, pero esto es un error ya que las especies no son cosas concretas sino colecciones de tales, y las colecciones son objetos conceptuales (véanse secciones 1.2, 4.5 y 7.2), y por esto no entran en el juego de la supervivencia. De esta manera, la frase '*X* es valioso para la especie *Y*' debe entenderse abreviadamente como '*X* es valioso para todo miembro de la especie *Y*'. Después de todo, las especies no son biosistemas y por lo tanto no hay supervivencia ni historia de vida de especies sino lenguaje descuidado (véase también Cracraft, 1989) .Tampoco hay una supervivencia o ciclo de vida de una biopoblación porque las biopoblaciones, aunque sistemas concretos compuestos de biosistemas, no están vivas (véase sección 4.3). A lo sumo, podemos hablar de la existencia continua de una biopoblación. Seguramente, para ciertos organismos puede ser valioso formar parte de una biopoblación, tal como una comunidad reproductiva o un sistema social. Así, la perpetuación de una biopoblación (como ítem ambiental) también es valiosa para los organismos en cuestión. Sin embargo, este caso está comprendido en la definición 4.10.

Tercero, de acuerdo con la definición 4.10, los biovalores son propiedades relacionales, o sea, entre los organismos (como totalidades) y cualquiera de sus subsistemas, o algún ítem en su ambiente. Así, no existen los biovalores intrínsecos o absolutos, de manera que un enunciado de la forma "*a* es valioso" estaría mal formado. En verdad, el concepto de valor biológico debe formarse al menos como un predicado binario, tal como "*a* es valioso para *b*", o más brevemente "*Vab*". Una concepción más precisa consistiría en formular el "biovalor" como un predicado cuaternario tal como en el esquema de enunciado "*a* es valioso en el aspecto *b* para el organismo *c* en alguna circunstancia *d*".

Cuarto, nuestro concepto de biovalor es objetivo en el sentido de que no presupone que el organismo para el cual un ítem es valioso tiene capacidad cognitiva alguna, en particular que sea capaz de hacer *juicios* de valor.

Quinto, la contribución de un rasgo a la capacidad de un organismo para sobrellevar la historia de vida específica de su especie (comprendiendo propiedades tales como supervivencia, salud, vitalidad, funcionamiento y capacidad reproductiva) viene en grados. Así, podríamos formular una medida cuantitativa del biovalor (véase, p. ej., Bunge, 1979a, 1989). Bástenos subrayar aquí que el biova-

lor *V* de un rasgo puede representarse mediante un número real entre -1 (carece completamente de valor) y 1 (por completo valioso.) Si un rasgo es neutro, se le asigna el valor 0.

4.8 ADAPTACIÓN

Las nociones de biofunción, biorrol y biovalor nos permiten ahora elucidar los conceptos de adaptación y ajuste. Al igual que los conceptos anteriores, la mayor parte de las nociones subsumidas bajo el rótulo de 'adaptación', así como el concepto de ajuste, no presuponen ningún concepto evolutivo. En otras palabras, todos estos conceptos –con una excepción– tienen prioridad lógica sobre las nociones evolutivas. Esta excepción es sólo uno de los ocho conceptos que se esconden bajo el rótulo común de 'adaptación' que analizaremos en seguida.

4.8.1 *Ocho sentidos de 'adaptación'*

El término 'adaptación' es muy ambiguo porque designa varios conceptos diferentes, aunque relacionados. La confusión resultante en la literatura se ve aumentada por el hecho de que el término 'aptitud' en ocasiones se usa como sinónimo con uno de los sentidos de 'adaptación'. (Véanse, p. ej., Simpson, 1953; Pittendrigh, 1958; Bock y von Wahlert, 1965; G.C. Williams, 1966; M.B. Williams, 1970; Munson, 1971; Lewontin, 1978; Bunge, 1979a; Gould y Lewontin, 1979; Bock, 1980; Gould y Vrba, 1982; Burian, 1983, 1992; Mayr, 1988; Brandon, 1990; West-Eberhard, 1992.) De hecho, podemos distinguir al menos ocho sentidos diferentes de 'adaptación':

1. *Adaptación*$_1$ es lo que Simpson (1953), así como Bock y von Wahlert (1965), llaman 'adaptación universal'. Se refiere al hecho de que un ser viviente no puede existir separado de algún hábitat. (Recuérdese la distinción entre "hábitat" y "ambiente" de la sección 1.7.) Así, decir que un organismo está adaptado$_1$ equivale a decir que está *vivo en un hábitat dado*. La adaptación universal es, entonces, un concepto no específico y fenomenológico. A tal punto que no sólo es un concepto aplicable a las cosas vivientes sino a *todas* las cosas, sean vivientes o no. Puesto que toda cosa es capaz o no de existir en un hábitat dado, el concepto de adaptación universal tiene un alcance ontológico. Sin embargo no es tan trivial como pareciera, ya que no se refiere a la existencia *per se* sino a la existencia con respecto a cierto hábitat en particular. Por ejemplo, un pedazo de hierro puede persistir en el vacío pero no en un frasco con ácido clorhídrico. No hace falta decir que el rango de ambientes posibles de los biosistemas es bastante estrecho en comparación con el de las cosas no vivientes.

2. La *adaptación*$_2$ ocurre en la fisiología de los órganos sensoriales. Se refiere a la alteración en el grado de sensibilidad de un órgano sensorial dependiente de

la intensidad del estímulo. Un ejemplo es la adecuación del ojo a la visión con iluminación fuerte o mortecina. (Para anticipar otras nociones de adaptación, la capacidad de adaptación$_2$ o adaptabilidad es una adaptación$_4$ y lo más plausible es que también sea una adaptación$_6$.)

3. La *adaptación$_3$* se refiere a los procesos fisiológicos por los cuales un organismo puede ajustarse a un hábitat cambiante. La capacidad para hacerlo también se denomina 'adaptabilidad'. Algunos términos relacionados son 'adaptación fisiológica', 'ajuste fenotípico', 'aclimatación' o 'modificación'. La adaptación$_3$ puede ser reversible o irreversible. Por ejemplo, los seres humanos y otros mamíferos pueden adaptarse a mayor altura aumentando el número de eritrocitos, lo que compensa la disminución en el oxígeno atmosférico (reversible.) Algunas plantas, tales como el diente de león, crecen de manera diferente dependiendo de la altitud (irreversible.) Las jibias y otros animales pueden cambiar de color dependiendo del hábitat (reversible.) La forma de la cabeza de las pulgas de agua depende de la temperatura del agua en la que se desarrollan; de acuerdo con esto, hay una variación estacional en la forma de la cabeza, que se llama 'ciclomorfosis' (irreversible.) (Más ejemplos en Sudhaus y Rehfeld, 1992.)

El grado de adaptabilidad de un organismo contribuye claramente a su ajuste (adaptación$_5$), y la misma plasticidad fenotípica puede ser un resultado de la adaptación$_7$, y por lo tanto una adaptación$_6$ (Bock y von Wahlert, 1965; West-Eberhard, 1992.)

4. La *adaptación$_4$* se refiere a cualquier subsistema de un biosistema que cumple un rol biológico con un biovalor positivo respecto de algún o algunos ítems ambientales. Así, las aletas son una adaptación$_4$ de algunos vertebrados con modo de vida acuático, y los pies (tarsos) de los piojos de los seres humanos son una adaptación$_4$ que les permite aferrarse al cabello humano. Claramente, éste es un concepto de morfología funcional en términos de –para ponerlo antropomórficamente– "adecuación de la ingeniería de diseño" (Burian, 1983) de un órgano en relación con ítems e su medio ambiente, sin referencia alguna a su historia.

5. La *adaptación$_5$* es una noción relacionada que se refiere al estado de ajuste de un organismo de acuerdo con los ítems de su ambiente. La adaptación$_5$ se denomina a menudo –y más adecuadamente– *ajuste*. (Éste es también uno de los sentidos del término tradicional 'aptitud', o *fitness*.) El ajuste es una propiedad relacional y cuantitativa de un organismo, o más bien una propiedad del sistema organismo-ambiente. De acuerdo con esto, el ajuste de un organismo puede ser alterado por un cambio en el organismo o por un cambio en algunos ítems en su ambiente. Por supuesto, los ítems ambientales también pueden cambiar el organismo, y el organismo puede cambiarlos a ellos. Así, la noción de ajuste no presupone un organismo pasivo ni un hábitat estático (Simpson, 1953; Lewontin, 1983a, b; Levins y Lewontin, 1985).

Cuando se comparan entre sí los grados de ajuste de dos o más organismos, llegamos a la noción de *ajuste relativo*. A fin de aplicar la noción de ajuste relativo, no es necesario proponer valores específicos de los grados de adaptación de dos (o más) organismos a comparar: todo lo que importa es la distinción mejor-

peor considerando algunos ítems ambientales comunes. (Más sobre ajuste en la sección 9.2.1.)

6. La *adaptación*$_6$ concierne a rasgos organísmicos cuyos roles específicos han contribuido al éxito selectivo de sus portadores. En lenguaje teleológico y antropomórfico común, las adaptaciones$_6$ son rasgos que han sido "diseñados por" la selección natural "para" un rol dado. Aunque todas las adaptaciones$_6$ en un hábitat dado h son también adaptaciones$_4$ en h, no todas las adaptaciones$_4$ en h necesariamente son adaptaciones$_6$ en h. Por ejemplo, un nuevo rasgo debido a una mutación al azar, o que es meramente epifenoménico debido a alguna correlación pleiotrópica, puede ser adaptativo$_4$ pero no es el resultado de la selección. Por supuesto, si para empezar es adaptativo$_4$, pronto puede volverse adaptativo$_6$. A primera vista parecería que también hay rasgos que son adaptaciones$_6$ pero no adaptaciones$_4$. Por ejemplo, una adaptación$_6$ con respecto a algún ítem ambiental e puede ya no ser una adaptación$_4$ si e se convierte en e'. Sin embargo, tampoco es una adaptación$_6$ con respecto a e' porque este caso se refiere a dos ítems ambientales diferentes. Si nos referimos a un ítem ambiental común e, todas las adaptaciones$_6$ son adaptaciones$_4$.

7. La *adaptación*$_7$ concierne al proceso de evolución por selección natural que produce adaptaciones$_6$.

8. La *adaptación*$_8$ es el concepto operacionalista de aptitud en el sentido de *fitness* darwiniano, o como éxito reproductivo. Claramente, la adaptación$_8$ es en el mejor de los casos un *indicador* de adaptación$_5$. Como este concepto operacionista de adaptación o aptitud es la fuente de la famosa objeción tautológica a la teoría de la selección natural, la mayoría de los autores contemporáneos reconoce su inadecuación. Por lo tanto, no la consideraremos de aquí en adelante (más sobre el particular en la sección 9.2.)

Las nociones de adaptación relevantes para la teoría de la evolución son la primera, la cuarta, la quinta, la sexta y la séptima recién delineadas. A fin de evitar los subíndices, puede resultar conveniente introducir nuevos términos para los conceptos más relevantes en cuestión. Para hacerlo, seguiremos en parte a Gould y Vrba (1982), quienes sugirieron distinguir entre las *aptaciones* (adaptaciones$_4$, *Passungen*) y las *adaptaciones* (adaptaciones$_6$, *Anpassungen*.) Como se afirmó antes, una aptación puede ser una adaptación, pero no necesariamente es así. Por ejemplo, la capacidad del cerebro humano (normal) de reconocer y distinguir cientos de rostros de coespecíficos es, probablemente una adaptación de un animal altamente social. En contraste, la capacidad de escribir libros sobre filosofía de la biología no es por cierto una adaptación de los cerebros humanos pero puede ser, cuando mucho, una aptación en cierto hábitat intelectual.

Propongamos algunas definiciones más precisas de las varias nociones relevantes de adaptación.

4.8.2 *Aptación y adaptación*

Para elucidar el concepto de adaptación$_4$ o aptación, necesitamos recordar el concepto de biovalor de la definición 4.10. Podemos decir que si T designa un conjunto de instantes de tiempo, entonces el *valor* biológico de los rasgos (es decir, subsistemas, procesos) de tipo A para organismos de tipo B con respecto a algún ítem ambiental e de tipo E es representable como la función $V: A \times B \times E \times T \rightarrow \mathbb{R}$ tal que para cualquier a en A, b en B, e en E y t en T, $V(a, b, e, t)$ es el valor del rasgo a para el organismo b en relación con algún ítem ambiental e en el tiempo t. Recordando que este valor puede hallarse entre -1 (carece completamente de valor) y 1 (completamente valioso) proponemos:

DEFINICIÓN 4.11. Un rasgo a de un organismo b es una *aptación* en relación con algún ítem ambiental e en el tiempo t si y sólo si $V(a, b, e, t) > 0$.

Sostenemos que el concepto de aptación (adaptación$_4$) es el de uso más común en biología, en particular en morfología funcional, fisiología y ecología. En estas disciplinas el origen evolutivo de un rasgo y su historia son sólo de interés secundario. Sólo en biología evolutiva, en particular en ecología evolutiva, estamos interesados en si las aptaciones también son adaptaciones (véase también Amundson y Lauder, 1994).

Las aptaciones cumplen un rol biológico más o menos *importante*. El biovalor de un rasgo indica no sólo si cumple *algún* rol biológico, sino quizá un rol *específico*. Por ejemplo, compárese el biovalor de las amígdalas con el del cerebro.En la mayoría de los casos resultará razonable conjeturar que las aptaciones con una función y un rol específicos son probablemente también adaptaciones. En otras palabras, la especificidad de funciones y roles es indicador de adaptaciones$_6$.

Como el valor de un rasgo en relación con algún ítem ambiental puede no sólo ser positivo sino también nulo o negativo, llegamos inmediatamente a los conceptos de nulaptación y malaptación:

DEFINICIÓN 4.12. Un rasgo a de un organismo b es una nulaptación en relación con algún ítem ambiental e en el tiempo t sii $V(a, b, e, t) = 0$.

Mientras que el rol biológico de una aptación es más o menos significativo, el rol biológico de una nulaptación es probablemente insignificante. Sin embargo, el rasgo en cuestión aún cumple *algún* rol porque el conjunto de relaciones vinculantes entre cualquier subsistema de un biosistema y los ítems en su ambiente, es no vacío. De otra forma sería un sistema cerrado. En consecuencia, no hay rasgos enteramente carentes de función o que no desempeñen ningún rol. Recuérdese, por ejemplo, la mínima función linfática del apéndice cecal humano (sección 4.6.)

En lo referente al concepto de malaptación, es elucidado por:

DEFINICIÓN 4.13. Un rasgo a de un organismo b es una ***malaptación*** en relación con algún ítem ambiental e en el tiempo t si $V(a, b, e, t) < 0$.

Nótese que las nulaptaciones no deberían denominarse 'no aptaciones', porque lógicamente el término 'no aptación' designa al complemento de la clase de las aptaciones, y así comprende tanto a las nulaptaciones como a las malaptaciones.

El concepto de malaptación nos permite eventualmente definir el concepto de malfunción. Para ser consistentes con nuestra distinción función/rol, deberíamos, para esta cuestión, introducir el neologismo *malrol*. Sin embargo, preferimos abstenernos de hacer eso y entender que el término 'malfunción' comprende tanto funciones propiamente dichas como roles. Sugerimos entonces:

DEFINICIÓN 4.14. Se dice que un subsistema (p. ej., un órgano) a de un organismo está ***malfuncionando*** con respecto a algún o algunos ítems experimentales e durante un período $\tau =_{df}$ la función (específica) de a o el rol (específico) de a, o ambos, son una malaptación con respecto a e durante τ.

Nótese que "malfunción" es un concepto relativo: lo que es una malfunción en un entorno no necesariamente lo es en otro. Pensar de otra manera presupone la existencia de algún propósito más allá y por encima de las actividades y roles de los sistemas biológicos. Pero ¿dónde reside este presunto propósito? Ciertamente, el médico a menudo desestima los hábitat particulares y se centra en la "función propia" de un órgano, ya que apenas si hay algún hábitat en el cual, por ejemplo, un corazón humano incapaz de bombear sangre pueda ser una aptación. Sin embargo, lo que vale para el médico no necesariamente es verdadero para el biólogo evolucionista: éste debe considerar el hecho de que un órgano puede tener diferentes biovalores en diferentes hábitat, y que las funciones y roles de los órganos siguen cambiando evolutivamente.

Aun así, los etiólogos insistirán en que el corazón ha sido obviamente "construido por" la selección natural "para" las funciones específicas y los roles específicos que normalmente cumple en los miembros del taxón dado. Esto justificaría hablar de la función "propia" o "normal" del corazón, de manera que cualquier desviación grave de esta función propia (o normalidad fisiológica) sea fácilmente detectada como una malfunción. En otras palabras, las funciones propias serían adaptaciones.

Aunque este enfoque metafórico es parcialmente correcto, debemos tener presente que (a) el proceso de adaptación presupone ontológicamente (históricamente) alguna función o rol para empezar, que no tienen por qué ser el resultado de la adaptación; y (b) hablar de la función y rol propios de un órgano en un cierto tiempo presupone que el rasgo en cuestión aún cumple en ese tiempo una función y rol equivalentes -aunque lo más plausible es que mejorados en tanto adaptados. De otra manera deberíamos considerar que la función propia del apéndice cecal humano es degradar la celulosa, y que la función propia de las alas del kiwi (vestigiales y no funcionales) es volar (véase también Prior, 1985). En conse-

cuencia, el concepto de adaptación presupone lógicamente las nociones de función, rol y biovalor, y así la de aptación; y la detección de adaptaciones presupone epistemológicamente algún conocimiento de la función y rol de un órgano. Por eso debemos proceder con nuestro enfoque no teleológico y por lo tanto no etiológico, que no tiene usos para la noción de función propia. Aun así, necesitamos un concepto adecuado de adaptación. Este concepto se propone en:

DEFINICIÓN 4.15. Un rasgo *a* de tipo *A* de un organismo *b* es una adaptación en relación con algún ítem ambiental *e* de tipo *E* en el tiempo *t* si y sólo si,

(i) *a* es una aptación de *b* en relación con *e* en *t*, y

(ii) el biovalor de la función/funciones y rol/roles de *a* en relación con *e* en *t* depende de (y es representable como una función matemática creciente de) los biovalores de las funciones, roles y desempeños de los rasgos de tipo *A* en los ancestros de *b* en relación con los ítems ambientales de tipo *E* en cualquier tiempo anterior a *t*.

Desafortunadamente, el concepto de dependencia al que se hace referencia en la cláusula (ii) es bastante vago. Aunque podemos precisarlo un poco más especificando que es representable como una función creciente, ésta es una noción epistemológica y no ontológica. Por lo tanto, necesita mejorarse. Lo que tenemos presente es, por supuesto, el hecho de que el biovalor de *a* es un "resultado de selección". Esta frase, sin embargo, sólo aparenta ser más clara por ser más familiar. Sin embargo, de hecho, también el concepto de selección necesita una elucidación (véase sección 9.2.)

En cualquier caso, vale la pena notar que si se define la "adaptación" de esta manera o, más explícitamente, en términos de selección, ya no podemos decir, por ejemplo, que "haber sido capaz de proveer una explicación científica de la adaptación fue quizás el máximo triunfo de la teoría darwiniana de la selección natural" (Mayr, 1988:148). De hecho, considérese la subsunción

Todos los caracteres que resultan de la selección son adaptaciones.
c es un carácter que resulta de la selección.
c es una adaptación.

La premisa mayor no es un enunciado legal sino uno analítico, y por lo tanto la subsunción, aunque válida desde el punto de vista lógico, carece de sentido desde el punto de vista explicativo. (Los enunciados analíticos son verdaderos en virtud de su forma lógica, tal como en "La homosexualidad es innata o adquirida", o bien, como en el clásico ejemplo de libro de texto "Todos los hombres no casados son solteros" y en el de la premisa mayor antes citada, en virtud del significado de sus conceptos. Por eso son inexpugnables a las pruebas empíricas: véase sección 3.7.2 .) Lo que explica la teoría de la evolución por selección natural es, entonces (el mejoramiento transgeneracional de), aptaciones, no adaptaciones. Este ejemplo ilustra una vez más que el concepto de aptación precede lógicamente al de adaptación.

De acuerdo con las consideraciones precedentes, no tenemos uso para la noción de función propia, que de cualquier manera huele a (cripto)teleología. Supongamos que descubrimos algún organismo de un nuevo tipo, entonces todo lo que necesitamos para practicar biología libre de teleología es lo siguiente: (a) estudiamos las actividades, en particular las funciones específicas, de sus subsistemas; (b) investigamos los roles biológicos, en particular los roles biológicos específicos, de los subsistemas en el hábitat natural del organismo; (c) determinamos los biovalores de los rasgos en cuestión, esto es, si los rasgos son aptaciones, nulaptaciones o malaptaciones en el hábitat natural; (d) aquellos subsistemas que tienen funciones específicas y roles específicos que son aptaciones se investigan más a fondo para dilucidar si son adaptaciones. Aunque para hacer todo eso podríamos guiarnos por la pregunta heurística "¿Para qué es este órgano?", nunca le damos una respuesta genuinamente teleológica. Sostenemos que cualquier respuesta o secuencia de respuestas a la lista de pasos investigativos es lo que la mayoría de los biólogos y biofilósofos llaman 'explicación funcional'. (Más sobre teleología en el capítulo 10. Para los diversos niveles de análisis subsumidos bajo el rótulo 'explicación funcional', véase Wouters, 1995.)

Lamentablemente, aunque obvio, cualquier hipótesis que asuma que un rasgo es una adaptación resulta difícil de poner a prueba. Así, la mayoría de tales hipótesis son suposiciones no probadas, aunque plausibles. Usualmente, el carácter de adaptación de un rasgo se conjetura utilizando los indicadores provistos por la totalidad de la biología comparada y la sistemática. Por ejemplo, el primer paso en la investigación del estatus de adaptación de un rasgo es determinar el promedio taxón-específico de las funciones y roles específicos de los órganos de los organismos. La especificidad taxonómica del rol específico de un rasgo es usualmente un buen indicador de su estatus de adaptación. (Nótese que "especificidad taxonómica" no es lo mismo que que "especificidad poblacional" o "estadísticamente normal". De hecho, algún órgano puede malfuncionar en una población entera, pero es poco verosímil que malfuncione en todos los miembros de un taxón –pasados, presentes y futuros–, a menos que los miembros del taxón estén restringidos a una sola población. No hace falta decir que, por razones prácticas, a menudo tenemos que conformarnos con la normalidad estadística en una pequeña población estudiada –como indicador. Para los diferentes conceptos de normalidad, véanse Boorse, 1977 y Wachbroit, 1994.)

Además del indicador de la especificidad taxonómica, los biólogos también pueden usar escenarios evolutivos adaptativos para justificar sus suposiciones adaptacionistas. Sin embargo, siempre se puede inventar historias plausibles sobre adaptaciones. La actitud de considerar *a priori* a *todos* los rasgos como adaptaciones mientras no se demuestre lo contrario ha sido criticada como "programa adaptacionista" (Gould y Lewontin, 1979.) Es conveniente aclarar que el adaptacionismo es una estrategia *heurísticamente* fructífera, pero puede convertirse en un dogma irrefutable si se remplaza a un escenario adaptacionista rechazado por otro, y así sucesivamente, sin considerar hipótesis alternativas, esto es, no adaptacionistas. Semejante hipótesis alternativa podría consistir, por ejemplo, en

explicar un rasgo como el resultado de restricciones biomecánicas o de desarrollo. En suma, los enunciados sobre las presuntas funciones propias de los rasgos no están en modo alguno mejor fundadas que la mayoría de las demás hipótesis adaptacionistas.

Si las adaptaciones son rasgos de los organismos cuyo rol actual en un hábitat dado se debe al éxito selectivo que la posesión de tales rasgos confirió a organismos ancestrales en un hábitat del mismo tipo, entonces no puede haber pre*ad*aptaciones. Puede decirse de un rasgo que es potencialmente aptado, es decir, ***preaptado*** con respecto a cierta función o rol en un hábitat diferente o futuro, pero no puede decirse que sea preadaptado a él (véase también Gould y Vrba, 1982). Sin embargo, si hay preaptaciones, también podemos hablar entonces de premalaptaciones. Por ejemplo, la exocutícula de los artrópodos, que se originó en un hábitat marino, puede considerarse una preaptación a un hábitat terrestre. En cambio, el sistema vascular acuífero de los equinodermos (erizos y estrellas de mar, etc.) puede ser una premalaptación a un hábitat terrestre. Ésta podría ser una de las razones por las que jamás evolucionaron equinodermos terrestres.

Así como no existen preadaptaciones, tampoco hay maladaptaciones ni nuladaptaciones análogas a las malaptaciones y nulaptaciones. Sin embargo, es claro que hay no adaptaciones, es decir, la clase complementaria de las adaptaciones –la clase de rasgos que no son adaptaciones. Por ejemplo, un rasgo puede deberse a una mutación reciente o tener una conexión pleiotrópica con otro rasgo. Semejante rasgo puede ser útil, o sea, puede ser una aptación, pero su rol actual no depende de ningún valor selectivo pretérito. Gould y Vrba (1982) han sugerido llamar a tales rasgos 'exaptaciones', que definen (teleológicamente) como "caracteres evolucionados para otros usos (o para ninguna función en absoluto), y por los que más tarde 'se optó' para su rol actual" (p. 6.) Ellos dan como ejemplo la evolución de las plumas, que inicialmente pueden haber sido adaptaciones "para" la termorregulación pero que pudieron utilizarse "para" planear (exaptación), de manera que la selección pudo eventualmente comenzar a adaptarlas "para" el vuelo. Otro ejemplo es el excedente de funciones y roles del cerebro humano, que claramente no todas son adaptaciones. Entonces el concepto de exaptación es importante con referencia a la conversión de funciones y roles, que se considera uno de los factores principales en evolución (Mayr 1960.) Intentemos, entonces, limpiar la propuesta de Gould y Vrba de sus residuos teleológicos:

DEFINICIÓN 4.16. Denoten b y b' organismos, tales que b es ancestro de b', y denoten e y e' ítems de tipo E en los ambientes de b y b', respectivamente. Asimismo, denoten a y a' rasgos del tipo A de los organismos b y b', respectivamente. Finalmente, denomínese R al conjunto de los roles biológicos de a en relación con algún e en tiempo dado t, y R' al conjunto de roles biológicos de a' en relación con e' en algún tiempo posterior t'. Entonces a' es una ***exaptación*** de b' en relación con e' en el tiempo t', donde $t < t'$, si y sólo si

(i) el rasgo a de b es una aptación, una nulaptación o una adaptación en relación con e en t;

(ii) el rasgo a' de b' es una aptación en relación con e' en t'; y

(iii) $R' \neq R$.

Para resumir, los conceptos no teleológicos de función y rol tienen prioridad lógica sobre las nociones de aptación y adaptación. Más aún, las funciones y roles preceden ontológicamente (históricamente) al proceso de adaptación. Así, el conocimiento de funciones y roles también tiene precedencia epistemológica sobre el conocimiento de la adaptación, como han enfatizado recientemente Amundson y Lauder (1994), ya que debemos saber cuáles son la función y el rol de un órgano antes de poder determinar si es o no una adaptación. En consecuencia, sostenemos que la propuesta de los etiólogos de combinar todos estos conceptos en la noción singular de *función propia* es confusa y engañosa. Lo que ofrece más claridad es estar consciente de que el término ambiguo 'función' en biología se usa para referirse no sólo a (a) las actividades y (b) los roles de los órganos [nótese que tanto (a) como (b) a veces se subsumen bajo el término 'función de Cummins', que se refiere al análisis de Cummins de 1975, aun cuando Bock y von Wahlert (1965) deberían tener prioridad aquí], sino también (c) a las actividades y roles que resultan valiosos para los organismos en cuestión (à la Canfield, 1964 y Ruse, 1973); y finalmente (d) a las actividades y roles valiosos que son, más aún, adaptaciones (esto es, la noción de los etiólogos de función como función propia.)

4.8.3 *Aptabilidad y ajuste*

Finalmente, retomaremos las nociones de aptabilidad y ajuste. Si aceptamos la distinción entre aptación y adaptación, se vuelve obvio que el concepto ontológico básico de adaptación$_1$ no debería llamarse 'adaptación universal'. Una cosa compleja ni es capaz de existir en *cualquier* hábitat, esto es, universalmente, ni necesita estar *ad*aptada al hábitat en cuestión. A lo que se refiere la "adaptación universal" es a la propiedad relacional básica de una cosa de estar *aptada* a un cierto hábitat. De esta manera, este concepto ontológico tal vez se denomine mejor 'aptabilidad mínima' o 'aptabilidad básica'. Como la aptabilidad mínima de una cosa dependerá de diferentes propiedades en diferentes hábitat, no podemos definir la noción de aptabilidad mínima para todas las cosas. Sólo podemos formular un criterio de aptabilidad mínima: Una cosa b está *mínimamente aptada* en relación con ítems ambientales de tipo E durante un período τ si b es capaz de subsistir en relación con ítems de tipo E durante τ.

Afortunadamente, estamos en mejor posición con respecto a las cosas vivientes. Aquí nos podemos referir a ciertas propiedades que subyacen a la subsistencia de un biosistema en un hábitat dado. Más aún asumimos que, a excepción de los primeros sistemas vivientes sobre el planeta, siempre habrá algunas adaptaciones entre esas propiedades. Esto nos permite utilizar el término tradicional 'ajuste' en lugar del neologismo 'aptabilidad'. Podemos de esta manera proponer:

DEFINICIÓN 4.17. Un biosistema b está *mínimamente (ad)aptado* en relación con los ítems en su ambiente $E =_{df}$ b puede, al relacionarse con los ítems en E, ejercer todas las funciones enlistadas en el postulado 4.1 al menos en grado mínimo.

Empleando el concepto de biovalor, también podríamos decir que un biosistema está mínimamente adaptado a los ítems en su ambiente si y sólo si el biovalor de estos ítems es ≥ 0.

Ahora bien, los biosistemas mínimamente adaptados ejercen probablemente sus biofunciones y biorroles con varios grados de intensidad y eficiencia. En otras palabras, si un biosistema es capaz de sobrevivir, su funcionamiento variará respecto de funciones y roles en particular (véase también Bock, 1980; Arnold, 1983). Más aún, estos funcionamientos en particular determinarán su funcionamiento integral. De acuerdo con esto definimos así la noción de ajuste:

DEFINICIÓN 4.18. El *ajuste (integral)* de un organismo b en relación con los ítems en un ambiente E durante un período $t =_{df}$ el grado de compatibilidad y funcionamiento (totales) de b en relación con los ítems en su ambiente E durante t como resultado del juego recíproco de todas sus aptaciones, nulaptaciones y malaptaciones.

En contraste con el ajuste mínimo, el ajuste (integral) es un concepto cuantitativo. Así, podemos estipular que el valor del ajuste integral de un organismo pueda ser representado por un número real α entre 0 y 1, o más precisamente, $0 < \alpha \leq 1$ (M. B. Williams, 1970). Puesto que el concepto de ajuste se refiere a cosas vivientes, el valor 0 queda excluido porque equivale a no viabilidad o muerte. En la naturaleza, el valor 1 rara vez se alcanzará porque es igual al punto óptimo o de perfección. Más aún, un valor de ajuste de 1 es extremadamente inverosímil porque cualquier cambio en el organismo, en el hábitat o en ambos resultaría inmediatamente desventajoso para el organismo en cuestión, reduciendo así su ajuste. Ésta es la razón por la cual los organismos ecológicamente (super)especializados a menudo están evolutivamente condenados.

La noción de ajuste integral ha sido criticada por resultar inútil para la teoría de la evolución (Byerly y Michod, 1991). Cierto, el concepto de ajuste parece resultar teórica y prácticamente difícil de manejar al referirse a una propiedad relacional sistémica, el valor preciso de la cual parece desesperanzadamente imposible de medir. Más aún, es un concepto fenomenológico de poder explicativo restringido –a menos que se especifiquen las propiedades particulares subyacentes del organismo en cuestión (van der Steen, 1991.) Sin embargo, el hecho de que enfoquemos esta propiedad sistémica sólo a través de simplificaciones toscas, por ejemplo, restringiendo nuestro análisis a sólo uno o unos pocos caracteres y promediando valores de ajuste sobre poblaciones (Arnold, 1983), no invalida el concepto básico de funcionamiento integral de los individuos (véase también Lennox, 1991.) Después de todo, los organismos son *sistemas* adaptados, no meros montones de órganos aislados.

Algunos de los conceptos previamente elucidados, en particular el de ajuste,

se explorarán con más en detalle en la sección 9.2, donde trataremos la teoría de selección natural. Sin embargo, todavía tenemos que andar un largo camino antes de estar listos para el tema de la evolución. El próximo paso consistirá en explayarnos sobre el tema de las entidades supraorganísmicas, donde nos vemos llevados a dar una mirada a la ecología.

5 ECOLOGÍA

Tal como los problemas de la vida y la biología del desarrollo, la ecología ha recibido poca atención de los filósofos de la ciencia (Ruse, 1988.) Sin embargo, como cualquier otro campo de investigación, origina muchos problemas ontológicos y metodológicos. Uno de los problemas ontológicos de la ecología es el estatus ontológico de las comunidades y ecosistemas. En particular, la controversia individualismo-holismo, es decir, si las comunidades son meros agregados de organismos o bien sistemas, ha obsesionado a la ecología de comunidades desde sus inicios (Loehle, 1988; Hagen, 1989; Taylor, 1992; Shrader-Frechette y McCoy, 1993; McIntosh, 1995). Uno de los problemas metodológicos de la ecología concierne a su propio estatus como disciplina científica. Por ejemplo, Peters (1991) abogó recientemente por una ecología de orientación instrumental, enfocada en la predicción destinada a resolver los acuciantes problemas ambientales más que en, según cree, cuestiones insolubles tales como la explicación y la concepción de teorías generales.

Comencemos con algunos de los problemas ontológicos de la ecología, ya que este tema es una continuación natural del capítulo precedente.

5.1 ENTIDADES SUPRAORGANÍSMICAS

En el capítulo 4 (definiciones 4.5 y 4.7) definimos los conceptos de organismo y biopoblación. Ahora procedemos a considerar otras dos entidades de nivel superior relevantes para la ecología; la comunidad y la biosfera. Deberemos distinguirlas, además, de los conceptos de ecosistema y ecosfera. Por supuesto, el filósofo sólo puede proponer definiciones generales de estos conceptos, ya que es tarea del ecólogo investigar si éstos tienen una extensión.

Comenzamos con:

DEFINICIÓN 5.1. Un sistema concreto es una *biocenosis* o *comunidad* si

(i) lo componen organismos que pertenecen a (por lo menos dos) bioespecies diferentes (es decir, si su composición es multiespecífica); o

(ii) lo componen (por lo menos dos) biopoblaciones diferentes de organismos uniespecíficos.

DEFINICIÓN 5.2. Un sistema concreto es una *biosfera* si lo componen todas las comunidades de un planeta (es decir, si es una comunidad planetaria.)

En otras palabras, una comunidad es una biopoblación multiespecífica que puede estar constituida por organismos interactuantes que pertenecen a distintas especies o biopoblaciones uniespecíficas interactuantes. (Sin embargo, es cuestionable si las biopoblaciones realmente interactúan como totalidades.) Para ser más precisos, si c denota una comunidad compuesta de dos biopoblaciones p y q, y si A y B designan dos bioespecies, entonces la composición organísmica de c puede expresarse como '$C_O(c) = C_O(p) \cup C_O(q)$', donde $C_O(p) \subseteq A$ y $C_O(q) \subseteq B$. De otro modo, podríamos escribir '$C_O(c) \subseteq A \cup B$'. Introducimos estas fórmulas aquí porque serán útiles más tarde (sección 9.1).

Nótense los siguientes puntos. De acuerdo con la definición 5.1, cualquier combinación de organismos o poblaciones de especie diferente puede calificarse como comunidad (véase también Ricklefs, 1990; Taylor, 1992). Por ejemplo, una colmena y la planta que la hospeda constituyen una comunidad. Sin embargo, ésta no es una definición satisfactoria para la ecología de ecosistemas, que necesita la noción de comunidad total dentro de un ecosistema; en seguida ampliaremos esta noción.

A menudo, las definiciones de "biopoblación" y "comunidad" incluyen referencia a un hábitat en común o a la coocurrencia en una misma localidad (Taylor, 1992.) Esto resulta innecesario en nuestro caso porque hemos definido estas entidades como sistemas concretos: no serían tales a menos que hubiera vínculos entre sus componentes, y dichos vínculos sólo son posibles si los organismos involucrados no están demasiado alejados. Sin embargo, como veremos en un momento, la referencia a un hábitat distinguible será necesaria para definir el concepto de ecosistema.

Hay controversias acerca de si existe realmente una comunidad cohesiva a escala mundial, o si las comunidades locales sólo convergen para formar biotas regionales o los llamados grupos de comunidades. De cualquier manera, el filósofo no puede responder a esta pregunta. Sólo puede señalar que tal comunidad mundial, de existir, debe ser un sistema cohesivo: la mera noción de localización espacial, esto es, restricción a nuestro planeta, resulta insuficiente para establecer tal cohesión.

No hemos contemplado los ecosistemas entre las bioentidades porque usualmente se conciben como si incluyeran el entorno inmediato de una comunidad (Odum, 1971; MacMahon *et al.*, 1978; Salthe, 1985; Ricklefs, 1990; Taylor, 1992; Shrader-Frechette y McCoy, 1993). Por ejemplo, un lago o un bosque enteros se consideran normalmente ecosistemas, no sólo su parte compuesta exclusivamente de entidades vivientes y biopoblaciones de estas entidades. Esta distinción nos lleva a nuestra concepción de "biosfera", que difiere del uso común en que también se le concibe como refiriéndose sólo a los sistemas compuestos de biosistemas o biopoblaciones. A menudo todas las comunidades junto con la superficie total de la Tierra se denominan 'biosfera'. Por razones de coherencia, sugerimos llamar a este último sistema *ecosfera*, dado que en general es idéntico a 'ecosistema mundial' o 'ecosistema planetario'.

Sin embargo, antes de que podamos proponer definiciones más precisas de es-

tos conceptos, necesitamos la noción de comunidad total. De acuerdo con la definición 5.1, cualquier sistema de organismos o poblaciones de especies diferentes es una comunidad. (Podríamos denominarlos 'comunidades parciales'.) Sin embargo, cuando los ecólogos hablan de ecosistemas no sólo se refieren a cualquier sistema con composición multiespecífica, tal como una comunidad predador-presa o parásito-hospedero en particular. Más bien tienen en mente la comunidad total en un hábitat comparativamente distinguible, tal como un lago, compuesto de *todos* los organismos interactuantes en ese hábitat. De acuerdo con esto, proponemos:

DEFINICIÓN 5.3. Un sistema concreto es una *eubiocenosis* o *comunidad total* si y sólo si,

(i) lo componen todos los organismos interactuantes de diferentes especies en un hábitat distinguible; o

(ii) lo componen todas las biopoblaciones en un hábitat distinguible.

DEFINICIÓN 5.4. Un sistema concreto es

(i) un *ecosistema* si lo componen una comunidad total y su entorno inmediato;

(ii) es una *ecosfera* si lo componen una biosfera y su entorno inmediato.

En otras palabras, el ecosistema es el sistema total comunidad-ambiente. Nótese que, al definir las nociones generales de biosfera y ecosfera, no es necesario especificar el planeta en particular: la definición se aplica a cualquier planeta, y no vale para el conjunto de comunidades y ecosistemas en todos los planetas posibles porque semejante conjunto no es un sistema concreto.

5.2 ESTATUS ONTOLÓGICO DE COMUNIDADES Y ECOSISTEMAS

En una reciente revisión, McIntosh (1995) resumió la controversia sobre el estatus ontológico de las comunidades, y Shrader-Frechette y McCoy (1993) reunieron diversas definiciones de "comunidad" propuestas por los ecólogos durante este siglo. (Para un resumen de este debate véase Taylor, 1992.) Los ecólogos que siguen el enfoque organísmico de Frederic Clements consideran que las comunidades y ecosistemas son cuasi- o superorganismos, esto es, sistemas integrados, coordinados y autorregulados (p. ej., Odum, 1971). Otros afirman temerosamente que los ecosistemas son sistemas, aunque no integrados ni homeostáticos (p. ej., Engelberg y Boyarsky, 1979.) En cambio, los seguidores del enfoque individualista de Henry Gleason creen que las comunidades no son sino agregados causales de organismos, carentes de cohesión interna y coordinación. (Los ecólogos a menudo usan el término 'ensamblaje' para lo que nosotros denominamos un 'agregado' de organismos. Sin embargo, el concepto subyacente es el mismo: significa que la cosa compuesta en cuestión carece de una estructura interna significativa.) De acuerdo con las definiciones de la sección precedente, esta última posición equivale a decir que las comunidades no existen.

Cada escuela suministra la evidencia empírica para su propia interpretación. Por eso, dependiendo de los organismos y de los hábitat que estudian, algunos ecólogos encuentran totalidades estructuradas mientras que otros no. Por ejemplo, las comunidades vegetales parecen estar menos integradas que las comunidades animales; y entre los animales, las comunidades de insectos parecen menos integradas que las de aves. Más aún, el grado de integración puede incluso ser estacionalmente variable. Por ejemplo, se encontró que la fauna de macroinvertebrados del río Salmon (Idaho) estaba en un estado de equilibrio en verano, pero no en otoño (Minshall *et al.*, 1985). Incluso pareciera que "los ecólogos se verían en dificultades para identificar un sitio que demostrablemente careciera de interacciones interespecíficas, que pudiera calificarse como un ensamblaje *sensu stricto*" (McIntosh, 1995:329).

Por eso lo que parece desorientar a los ecólogos es el hecho de que los sistemas que estudian tienen grados variables de integración y coordinación. Esta situación, sin embargo, no es nada extraña para el ontólogo, que sabe que algunos sistemas están más íntimamente entretejidos que otros, y que no existe una medida transespecífica o universal de integración o cohesión de un sistema. Por esta razón parece engañosa la analogía resultante de considerar a las comunidades como superorganismos. Como los organismos son ejemplos de sistemas altamente integrados y coordinados, la analogía puede llevar a los ecólogos a esperar un grado de integración y coordinación semejante en las comunidades, predisponiéndolos así a la decepción.

Dadas las dificultades en la investigación de comunidades parciales, podría resultar más promisorio estudiar comunidades totales en ecosistemas antes que cualquier combinación de plantas o animales, tales como comunidades de hierbas, aves o insectos. El hecho de que, por ejemplo, una comunidad de insectos sólo parezca débilmente cohesiva no significa que toda la comunidad en un cierto ecosistema también sea débilmente cohesiva. Más bien, las relaciones vinculantes significativas pueden ocurrir entre los miembros de diferentes taxones, tales como insectos y plantas, plantas y bacterias del suelo, árboles y hongos, etc. (p. ej., véase Jordan, 1981).

La controversia sobre el estatus de las comunidades y la mejor manera de estudiarlas es un ejemplo del debate filosófico aparentemente perenne entre los individualistas (o atomistas) y los holistas. El individualismo descansa sobre una ontología atomista de acuerdo con la cual el mundo es un agregado de unidades de unos pocos tipos, y una epistemología reduccionista de acuerdo con la cual el conocimiento de la composición de una totalidad, si las hay, resulta necesario y suficiente para entenderla. En contraste, la metafísica del holismo muestra totalidades orgánicas que no son descomponibles en partes. La concomitante epistemológica del holismo es una forma de intuicionismo, de acuerdo con la cual las totalidades deben ser aceptadas y aprehendidas en su propio nivel en vez de analizadas.

Lo que a menudo se clasifica como holismo en ecología resulta encontrarse en realidad más cerca de un enfoque *sistémico* en vez de genuinamente holístico. En

verdad, muchos ecologistas de comunidades en la tradición de Clements están predispuestos a tratar las comunidades como organismos interrelacionados y, más aún, interactuantes, y los estudian tanto en sus micro- como en sus macroniveles. En cambio, el holismo genuino es más propenso a ser adoptado por los ambientalistas anticientíficos (o románticos, si se prefiere) que por los ecólogos científicos.

Como se mencionó antes, la tradición atomista queda ejemplificada por el enfoque individualista de Gleason, que representó una reacción contra el enfoque holístico o cuasisistémico de los primeros tiempos de la ecología de comunidades (McIntosh, 1995). Esta reacción ha sido en parte saludable, porque presiona a los ecólogos de comunidades a demostrar que los organismos y poblaciones que ellos estudian son realmente sistemas en vez de meros agregados. Demasiado a menudo la sistemicidad de las comunidades estudiadas se asume *a priori*, en particular invocando el supuestamente omnipresente vínculo de la competencia. Un ejemplo de tal supuesto es la idea de que la morfología de los organismos es afectada por la competencia interespecífica. Sin embargo, como demostraron algunos individualistas, la distribución de ciertos caracteres –tales como proporciones de tamaño de rasgos morfológicos entre diferentes especies sintópicas en la "comunidad" involucrada– a menudo resulta indistinguible de la que aparece en las llamadas comunidades nulas, esto es, agregados estadísticos formados con muestras al azar de diferentes hábitats.

Resultados como éstos plantean la necesidad de poner a prueba hipótesis nulas en ecología antes de abocarse a poner a prueba hipótesis sustantivas (Strong, 1982; Hagen, 1989). Sin embargo, como señaló Sloep (1986), no siempre está claro si una presunta hipótesis nula es realmente tal. De hecho, en algunos casos la supuesta hipótesis nula es en realidad una hipótesis sustantiva alternativa, y en otros, no es siquiera una hipótesis genuina alternativa, pues es complementaria más que rival de la otra hipótesis. Un ejemplo es la explicación del descubrimiento de que la razón especie/género, esto es, el número de especies por género, es más baja en las islas que en el continente. Mientras que los competicionistas explican este hallazgo como un efecto del aumento de la competencia interespecífica en las islas debido a su menor diversidad de hábitat, los anticompeticionistas afirman que esta razón puede explicarse igualmente bien como el efecto de la colonización al azar. Sin embargo, la hipótesis anticompeticionista no es una hipótesis nula porque (a) la dispersión al azar es un proceso (o mecanismo) alternativo, y no la ausencia de tal, y (b) cualquier combinación de competencia y dispersión parcialmente aleatoria puede producir la misma razón especie/género (Sloep, 1986.) En conclusión, no toda hipótesis denominada 'hipótesis nula' es en verdad nula, y una hipótesis no es refutada por una hipótesis rival igualmente confirmada con los datos disponibles.

Éste puede ser el lugar para advertir que la controversia individualismo/holismo en ecología tiene paralelos en la ética, así como en la filosofía social y en las ciencias sociales. Aquí los individualistas (p. ej., Hobbes, Locke, Smith, Bentham, Mill, Dilthey, los economistas neoclásicos, Weber, Hayek, Popper, y más reciente-

mente la mayoría de los sociobiólogos) se enfocan en los individuos y niegan la existencia de vínculos y sistemas sociales, o bien afirman que éstos son reductibles a los individuos y sus acciones. En contraste, los holistas o colectivistas (p. ej., los románticos –en particular Hegel–, Marx, Comte, Durkheim y los miembros de la escuela de Frankfurt) sostienen que la naturaleza y la sociedad son "totalidades orgánicas" que no pueden entenderse descomponiéndolas en sus componentes. (Más en Bunge, 1989, 1996.) Debemos dejar que la psicología y la sociología de la biología exploren las relaciones, de haberlas, entre las concepciones éticas y sociofilosófica de los ecólogos, así como de los biólogos en general, y sus preferencias por hipótesis, conceptos y teorías biológicos que presuponen una interpretación filosófica individualista-atomista u holista.

En cualquier caso, ni el individualismo ni el holismo son sostenibles en ecología. (Tampoco en cualquier otra área, como la ética o las ciencias sociales.) El individualismo ecológico falla porque los predicados ecológicos tales como "predador", "parásito", "simbionte", "polinizador" o "competidor" son al menos binarios, es decir, que presuponen la existencia de individuos relacionados. Sin embargo, dos (o más) individuos causalmente relacionados constituyen un sistema. No obstante, como vimos antes, una dosis moderada de individualismo metodológico –no ontológico– puede ser un saludable antídoto contra el holismo ingenuo. (En lo referente a la filosofía social, el individualismo olvida que los individuos humanos constituyen sistemas sociales; en otras palabras, que existen sólo como componentes de tales y por lo tanto no pueden entenderse como individuos aislados. El individualismo, de paso, no sólo ha sido adoptado tradicionalmente por los liberales sino también, en la actualidad, por muchos conservadores. En ética, el individualismo es parte integral de todas las variedades de moral egoísta, y así aparece acompañado de un énfasis excesivo en los derechos a expensas de los deberes.) El holismo ecológico también está destinado a fallar, al contener la tesis errónea de que todo está conectado con todo y ser básicamente antianalítico, y por lo tanto heurísticamente estéril. Por esta razón, el genuino holismo ecológico se inclina a atraer irracionalistas: piénsese en la "ecología profunda" y en la versión New Age de la tesis Gaia. (En lo referente a la filosofía social, debe notarse que el holismo es común a todas las ideologías totalitarias: "Usted no es nada, su *x* –léase: pueblo, iglesia, partido o lo que fuere– es todo".)

Otro conflicto digno de destacarse entre las concepciones individualista y holista puede discernirse en el campo bastante reciente de la ética ambiental, en el sentido amplio del conjunto de enfoques que intentan extender la esfera moral a las entidades no humanas (Callicott, 1980.) Aquí, el campo de la liberación animal y derechos animales parece adoptar un enfoque individualista, comprometido con los derechos e intereses (putativos) de los animales individuales. En cambio, el campo conservacionista o ecologista (es decir, ética ambiental en sentido estricto, denominada originalmente 'ética de la tierra') tiene que ver con la conservación de especies y ecosistemas, y en última instancia con la preservación de la ecosfera. Adopta un enfoque holista, ya que los intereses, si existen, de los componentes individuales de un ecosistema (incluyendo aquellos de los miembros de

Homo sapiens) se consideran subordinados al bien, superior, de la totalidad. Evidentemente, una ética ambiental coherente (en sentido amplio) no puede basarse al mismo tiempo en una concepción atomista y una holista. El trabajo actual en esta área, por lo tanto, apunta a concebir una ética ambiental unificada y consistente (véase, p. ej., Warren, 1983; Callicott, 1988).

Claramente, en todos los casos mencionados el *tertium quid* es el sistemismo, que admite la existencia de totalidades pero las analiza en términos de su composición, ambiente y estructura. (Recuérdese la noción de análisis CES en la sección 1.7.2; para una defensa reciente del sistemismo en ecología, véase también Tuomivaara, 1994.) Lamentablemente, el sistemismo se confunde a menudo con el holismo, e incluso hay sistemistas demasiado francos que usan los términos 'holístico' y 'holismo' para caracterizar su posición (p. ej., Wuketits, 1989). Tan es así que la mayoría de los ecólogos científicos, aunque a menudo son clasificados como holistas, en realidad son sistemistas en vez de holistas propiamente dichos. Abogamos por distinguir entre sistemismo y holismo, porque la tesis (ontológica) central del sistemismo "Toda cosa está conectada a *alguna* otra cosa o cosas" es mucho más débil que la tesis holista de que todo está conectado con todo. Y epistemológicamente, el sistemismo no es antianalítico como el holismo genuino. En resumen, vista de cerca, la controversia individualismo-holismo en ecología es en realidad una controversia individualismo-sistemismo.

Aun cuando la no antigua asociación de organismos estudiada por los ecólogos sea necesariamente un sistema, y aunque no todo antiguo sistema sea necesariamente uno autorregulado, apenas puede dudarse de que los sistemas ecológicos tales como biopoblaciones, comunidades y ecosistemas sí existen. Resulta igualmente evidente que tales sistemas son sub- y supersistemas, esto es, una jerarquía de sistemas anidados. Esta jerarquía de sistemas se abordará a continuación.

5.3 BIONIVELES

Hablar de niveles de organización (complejidad, integración o individualidad) y de jerarquía se encuentra muy difundido en biología, así como en otros campos de la ciencia. (Para una revisión rápida, véase Greene, 1987.) Desafortunadamente, no existe consenso en cuanto al significado de los términos 'nivel' y 'jerarquía', que se usan de muchas formas. (Para estudios anteriores sobre niveles véanse, p. ej., Woodger, 1929; Novikoff, 1945; Bunge, 1959b, 1963, 1973a, 1977b, 1979a; Beckner, 1974; Zylstra, 1992.) Recientemente, Eldredge (1985a) introdujo la distinción entre jerarquía *ecológica* y *genealógica*. Mientras que la jerarquía ecológica es la jerarquía tradicional constituida por sistemas tales como organismos, poblaciones, comunidades y biotas regionales, se supone que la jerarquía genealógica consta de "individuos" tales como codones, genes, cromosomas, organismos, demes, especies y taxones monofiléticos. Las relaciones integrativas de los primeros serían interacciones económicas mediante "transferencia de materia-energía";

el "cemento" que mantendría juntos a los segundos sería "transferencia de información" mediante la replicación. Más aún, los biólogos hablan de la jerarquía linneana y de jerarquías de homologías. Aparentemente, las jerarquías están por todas partes, y de casi todo se afirma que constituye un "nivel de la realidad" (p. ej., Ghiselin, 1974, 1981; Hull, 1976, 1980; Vrba y Eldredge, 1984; Rosenberg, 1985; Salthe, 1985; Collier, 1988.) Intentemos aclarar esta situación analizando la estructura de niveles de los sistemas bióticos, y dejemos el análisis de la jerarquía sistemática para el capítulo 7.

Haciendo a un lado los niveles prebióticos y los suprabióticos, hasta ahora hemos distinguido, más o menos explícitamente, seis diferentes niveles bióticos: los de biosistemas elementales (o células elementales), células compuestas, organismos multicelulares, biopoblaciones, biocenosis (o comunidades) y biosferas. Para tomar en cuenta los diversos órganos de los organismos multicelulares, debemos agregar otro, el nivel organal. (Para niveles similares o alternativos, véanse Löther, 1972; Griffiths, 1974; Popper y Eccles, 1977; MacMahon *et al.*, 1978; Mayr, 1982; Petersen, 1983; Eldredge, 1985a; Salthe, 1985; Zylstra, 1992.) Podemos mostrarlos, con fines de referencia, en las siguientes definiciones:

B_1 = nivel celular elemental = el conjunto de todas las células elementales
B_2 = nivel de las células compuestas = el conjunto de todas las células compuestas
B_3 = nivel organal = el conjunto de todos los órganos (multicelulares)
B_4 = nivel multicelular organísmico = el conjunto de todos los organismos multicelulares
B_5 = nivel poblacional = el conjunto de todas las biopoblaciones
B_6 = nivel de comunidades = el conjunto de todas las comunidades (biocenosis)
B_7 = nivel biosférico = el conjunto de todas las biosferas

Nótense los siguientes puntos. Primero, el conjunto B_7 de biosferas tiene hasta ahora un solo elemento conocido: la biosfera de nuestro planeta. Segundo, no se supone que nuestra lista de bioniveles sea completa. Se puede interpolar más niveles entre cualesquiera dos niveles. Por ejemplo, se puede fácilmente insertar otro nivel entre B_4 y B_5 que comprenda mutualismos fisiológicos tales como los líquenes. O bien, se puede dividir algunos de estos niveles en subniveles. Por ejemplo, un órgano en B_3, tal como el cerebro de los mamíferos, puede contener subsistemas de diferente complejidad desde, digamos, microcolumnas corticales hasta los denominados núcleos o hemisferios. Y una población en B_5 puede estar anidada en grupos, demes, comunidades reproductivas, poblaciones mendelianas o lo que fuere. (No hace falta decir que no existe acuerdo sobre la definición adecuada de cualquiera de estos términos.) En general, hay tantos niveles como tipos de (sub)sistemas. Tercero, también podemos fusionar niveles si su distinción resulta irrelevante para nuestro análisis. Por ejemplo, podríamos definir un nivel celular B_C como el conjunto $B_1 \cup B_2$. Cuarto, nuestra lista de bioniveles no incluye "niveles" cuyos elementos sean taxones, clados, grupos monofiléticos o linajes, simplemente porque todos ellos no son sistemas concretos, sino colecciones y, por consiguiente, constructos (véase sección 7.2).

Como resulta obvio a partir de nuestra concepción, los niveles también son conjuntos o clases y por ello conceptos, no cosas. Sin embargo, no son conceptos arbitrarios sino nociones que representan algo real: sistemas de una cierta complejidad. Puesto que un nivel es un conjunto, pertenecer a un nivel es idéntico a ser elemento de un conjunto. Por ejemplo, la oración "*b* es un organismo multicelular" puede abreviarse como "$b \in B_4$" (*b* pertenece al conjunto B_4) pero no "$b \sqsubset B_4$" (*b* es parte de B_4.) Otra consecuencia de concebir los niveles como conjuntos es que no puede decirse que los niveles interactúen: sólo los miembros individuales de los niveles pueden actuar unos sobre otros. En particular, los niveles superiores no pueden "mandar" ni "obedecer" a los inferiores, o viceversa. Todo discurso en términos de acción entre niveles es una elipsis.

En cambio, los miembros o elementos de los bioniveles son cosas concretas, más precisamente, sistemas concretos. Más aún, los sistemas que constituyen esos niveles se relacionan de la siguiente manera particular: cualquier sistema de un nivel dado se compone de cosas que pertenecen a los niveles precedentes. Por ejemplo, el sistema nervioso de un animal pertenece al nivel B_3 y está compuesto de miembros de B_1 (neuronas, células gliales, etc.). Una biopoblación de organismos multicelulares pertenece al nivel B_5 y se compone de miembros de B_4, los que a su vez se componen de miembros de B_3, los que se componen de miembros de $B_1 \cup B_2$, etc. Esto es lo que significa decir que B_1 *precede a* (o *es un nivel inferior a*) B_2, o que B_4 es un nivel inferior a B_5.

Para mayor precisión, el concepto general de la relación de precedencia entre niveles puede elucidarse mediante:

DEFINICIÓN 5.5. Si B_m y B_n designan dos niveles, entonces B_m *precede a* B_n si y sólo si, los *L*-componentes de los miembros de B_n pertenecen a B_m. Esto es, $B_m < B_n =_{df} \forall x\, (x \in B_n \Rightarrow C_L(x) \subset B_m)$.

Nótense los siguientes puntos sobre esta convención. Por un lado, aunque motivada por consideraciones biológicas, no se limita a los bioniveles. De hecho, se extiende a todos los niveles de sistemas, ya sean físicos, químicos, sociales o técnicos. Por otro, no hay nada oscuro en la noción de precedencia de niveles, siempre y cuando nos adhiramos a la definición 5.5 en lugar de concebir $B_m < B_n$ como "los B_m son inferiores a los B_n" o algo por el estilo.

Abordemos ahora la proposición de que la biosfera en su totalidad tiene una estructura jerárquica. Denomínese $B = \{B_1, B_2, B_3, B_4, B_5, B_6, B_7\}$ el *conjunto de los niveles bióticos*. Este conjunto es ordenado por la relación < de precedencia de niveles, que es asimétrica y transitiva. (Nótese que B no es ordenado por la relación ⊂ de inclusión de conjuntos como la jerarquía sistemática, ya que no es verdadero que toda célula sea un órgano, o que cada célula es un organismo, etc. Véase definición 7.2.) El conjunto B junto con la relación de precedencia de niveles merece un nombre propio:

DEFINICIÓN 5.6. El conjunto B de los bioniveles junto con la relación de precedencia de niveles $<$, es decir, $\mathcal{B} = \langle B, < \rangle$, se denomina la *estructura de los bioniveles*.

Aunque una clasificación difiere en estructura de la *estructura de bioniveles B*, ambos se subsumen usualmente bajo el término 'jerarquía'. (El concepto original de jerarquía, esto es, una jerarquía social, involucra una relación de subordinación o dominio.) Sin embargo, *B* no debería denominarse *jerarquía ecológica* ni *jerarquía de la vida*, porque B contiene tanto sistemas vivientes como no vivientes: cualquier cosa que esté viva o que se componga de entidades vivientes se halla en B. De acuerdo con esto, nuestra próxima suposición es:

POSTULADO 5.1. Todo biosistema y todo sistema que, en algún nivel, se componga exclusivamente de biosistemas, pertenece a algún nivel de la estructura de los bioniveles $\mathcal{B}$.

En consecuencia, ni los ecosistemas ni las ecosferas pertenecen a la estructura de bioniveles. Pertenecen a niveles suprabióticos porque también se componen de sistemas que, en algún nivel, no se conforman exclusivamente de biosistemas: los componentes del hábitat (abiótico.) Por eso es que $\mathcal{B}$ no es una jerarquía ecológica completa, sino sólo una subestructura de ella.

Como nuestra versión de la jerarquía de los bioniveles trata de niveles (más precisamente, sistemas concretos que pertenecen a un cierto nivel) y su orden, pero no de su origen y evolución, esta jerarquía sigue siendo estática. Los biólogos, sin embargo, quisieran decir que, históricamente (o evolutivamente) todo bionivel ha emergido de uno de los niveles precedentes (biótico o prebiótico.) Sin embargo, semejante enunciado sería metafórico: como los niveles son conjuntos, no pueden emerger unos de otros. Afortunadamente, las nociones de autoensamblaje y autoorganización elucidadas en la sección 1.7.4 nos permiten reformular esta idea. Así, de la definición 1.10 obtenemos el:

COROLARIO 5.1. Todo sistema concreto que pertenece a un nivel dado L se ha autoensamblado o autoorganizado a partir de cosas en los niveles precedentes.

Por ejemplo, una biopoblación es un sistema que se ha autoensamblado a partir de organismos del mismo tipo, que pertenecen al nivel inmediatamente precedente. En contraste, los órganos de un organismo multicelular se desarrollan simultáneamente con el individuo o en un determinada etapa de su desarrollo (un ejemplo de autoorganización). Por esto resulta falso que todo sistema en un nivel dado se haya autoensamblado a partir de cosas en *el* nivel precedente, aunque es cierto que se compone de tales cosas.

Una consecuencia inmediata de esta hipótesis es:

COROLARIO 5.2. Todo sistema en un nivel dado L_n es precedido en el tiempo por sus componentes en *algún* nivel inferior L_{n-i}.

Como se señaló antes, algunos sistemas en un nivel dado pueden no ser precedidos en el tiempo por sus componentes en el nivel precedente porque éstos se autoorganizan durante la historia del sistema, como es el caso del desarrollo de organismos multicelulares. En cambio, los componentes moleculares de un sistema de nivel superior siempre preceden a éste en el tiempo.

Si un sistema es precedido en el tiempo por sus componentes, éstos pueden denominarse *precursores*. Sin embargo, como no todos los componentes son precursores, la precedencia de niveles y la precedencia temporal no son coextensivas ni cointensivas (*pace* Bunge 1979a.) De cualquier manera, la jerarquía de los bioniveles, aunque compuesta por conjuntos estáticos, es compatible ahora con una concepción evolutiva. Metafóricamente podríamos decir que los niveles pueden sucederse en el tiempo, y que lo hacen en virtud de un mecanismo general: el autoensamblaje o la autoorganización de las cosas.

Hasta aquí la ontología de los niveles. Una consecuencia epistemológica de la estructura del mundo en niveles múltiples es que no existe *el* nivel de análisis absolutamente apropiado, más allá de nuestros intereses de investigación y metas. Más aún, como toda unidad de análisis (salvo por el universo como totalidad) está inmersa en un sistema de nivel superior, y como todos los sistemas se componen de cosas de nivel inferior, no deberíamos pasar por alto los niveles adyacentes al describir nuestro sistema de interés. Es decir, nuestro discurso debería referirse tanto al referente *central* (o blanco) como al referente o referentes *periféricos* (esto es, composicionales y ambientales.) (Véase también Salthe, 1985.)

5.4 NICHO ECOLÓGICO

Otra cuestión polémica en ecología es la noción de nicho ecológico. Aquí daremos un vistazo rápido a este concepto, dado que se relaciona con el concepto de ajuste que examinamos en la sección 4.8.3. Más aún, no está claro –como sucede con muchas otras nociones biológicas– cuáles son los referentes propios del concepto de nicho: organismos, poblaciones, especies, taxones superiores o tal vez, dependiendo del modelo, todos ellos juntos.

Para empezar, deberíamos recordar que la definición 4.18 identifica el ajuste integral de un organismo con su grado de concordancia y funcionamiento (integral) en relación con los ítems de su ambiente, como resultado del juego recíproco de todas sus aptaciones, nulaptaciones y malaptaciones. Esta definición es claramente una noción ecológica, a tal punto que algunos biólogos podrían objetar que la definición 4.18 no define el concepto de ajuste, sino más bien el de nicho ecológico. Sin embargo, los dos conceptos son diferentes. Sugerimos equiparar el nicho de un organismo y la colección de sus relaciones realmente posibles con su ambiente. En otras palabras, definimos el concepto de nicho ecológico como sigue:

DEFINICIÓN 5.7. Denomine *b* a un organismo de tipo (p. ej., taxón) *B* con un ambiente *E*. Luego el *nicho ecológico* de *b* es el conjunto de relaciones vinculantes *nomológicamente posibles*, es decir, *B*-específicas, de *b* con los ítems de su ambiente *E* que tienen un biovalor positivo para *b*.

De acuerdo con esto, el nicho de un organismo no es una cosa, tal como su hábitat. En vez de eso, es su estructura externa tipo-específica potencial con biovalor positivo para él. Usualmente, el tipo relevante es algún taxón, en particular la especie; pero si es necesario puede hacerse referencia a cualquier tipo, sistemático o extrasistemático. Nótense los siguientes puntos acerca de la definición anterior.

La definición 5.7 es parcialmente análoga a la definición 4.9, que iguala al rol biológico de un *órgano* con la exoestructura vinculante de éste. A primera vista, podríamos decir así que la definición 5.7 es una definición del rol de un *organismo* en el supersistema ambiental del que forma parte. En verdad, el "nicho" se define a veces como "el rol ecológico de una especie en la comunidad" (p. ej., Ricklefs 1990, p. 817.) Sin embargo, hay diferencias significativas de rol entre nuestras dos definiciones. Por un lado, antes definimos el rol de un órgano como su estructura vinculante externa *real* en algún momento. En contraste, la definición 5.7 se refiere a la a la estructura vinculante nomológicamente *posible* de un organismo. En cambio, definimos al rol de un órgano como su estructura externa vinculante *total*, mientras que la definición 5.7 se refiere sólo a los vínculos con *biovalores positivos* para el organismo en cuestión. Finalmente, nuestra definición de "nicho" restringe la estructura externa del organismo en cuestión a vínculos específicos del tipo, excluyendo así rasgos idiosincrásicos del organismo.

La razón de esta concepción es que los ecólogos quieren comparar los nichos de los organismos *qua* miembros de diferentes taxones, en particular especies, y no *qua* individuos. (Se supone que los enunciados en modelos y teorías científicos son generales en algún aspecto, es decir, que –como se dice a menudo– se relacionan con clases de cosas, no con individuos. Esta formulación, sin embargo, es imprecisa: un modelo científico no se refiere a una clase como una totalidad [abstracta], sino a todos y cada uno de sus miembros, o sea, a individuos concretos que comparten ciertas propiedades *qua* miembros de cierta clase o tipo.) Más aún, sostenemos que el nicho ecológico concierne sólo a las *necesidades* que un organismo debe satisfacer para sobrevivir y reproducirse en un hábitat dado. Por ejemplo, el hecho de que un organismo sea el hospedero de un parásito o la presa de un predador no pertenece a sus necesidades de supervivencia y por lo tanto a su nicho ecológico. (Sin embargo, el hospedero y la presa sí pertenecen a los nichos ecológicos de parásito y predador, respectivamente.) Por eso es que "nicho" no debería definirse como "la suma total de relaciones organismo-ambiente", sino restringirse a las relaciones con biovalor positivo. En realidad, la rama de la ecología teórica llamada *teoría de nicho* restringe el concepto de éste para referirlo a la frecuencia con que alguna población utiliza el recurso y lo representa como una "distribución de utilización" (Schoener, 1989), el cual resulta un concepto de nicho aún más estrecho que el nuestro.

No todas las relaciones nomológicamente posibles de un organismo necesitan actualizarse en un tiempo dado. Sin embargo, para ser un ser vivo y continuar en ese estado, un organismo debe realizar un nicho *mínimo* en todo momento. (Para una noción de nicho mínimo véase también Hurlbert, 1981.) En otras palabras, en todo momento debe estar mínimamente adaptado (recuérdese la definición 4.17). Así, mientras que la noción de nicho real mínimo coincide con la de ajuste mínimo, el concepto de nicho actualizado (o realizado) de un organismo no es lo mismo que el de ajuste (integral) de un organismo. En verdad, el primero comprende sólo la exoestructura real del organismo con biovalor positivo, mientras que el segundo se refiere a la exoestructura real *total*. Así, cuantas más "dimensiones" de su nicho potencial por arriba de las esenciales para la supervivencia elemental pueda realizar un organismo en un hábitat variable, es más plausible que se encuentre mejor adaptado.

Obviamente, el referente de nuestra definición de "nicho" es el organismo: la entidad viviente capaz o incapaz de sobrevivir y reproducirse en un hábitat dado. Resulta interesante que sólo pocos autores definen el concepto de nicho ecológico con referencia explícita a organismos (p. ej., MacMahon *et al.*, 1981). La mayoría de los autores se refieren, en sus definiciones, a las especies, o bien usan el término 'nicho' con referencia a especies y a organismos, como si no hubiera diferencia entre el concepto de nicho ecológico de un organismo y el de una especie. Sin embargo, como demostraremos, las especies no tienen nichos ecológicos ni pueden tenerlos.

Antes que nada, como se recordará de la sección 4.5, y como desarrollaremos en detalle en el capítulo 7, no podemos prescindir de la noción de especie como clase. Sin embargo, si las especies son clases, esto es, objetos conceptuales y no concretos, no tiene más sentido hablar del nicho de una especie que del metabolismo de ésta; lo mismo vale para los taxones supraespecíficos, así como para cualquier otra clase de organismos. De esta manera, hablar del nicho de una especie es tan descuidado (y erróneo) como decir que una especie es carnívora, o que "la rana-tortuga es una especie minadora que vive de las termitas", afirmación que se encuentra en la sala de exhibición del American Museum of Natural History. En la sección 1.2 llamamos a tales enunciados 'metafísicamente mal formados'. De hecho, no son las especies sino los organismos individuales los que pueden ser carnívoros o excavar y comer termitas, es decir, a otros organismos. Esto debería ser obvio no sólo si las especies son clases, sino también si se les considera sistemas concretos, como biopoblaciones (véase definición 4.7) a las que también se hace referencia como 'poblaciones-especie'. En este último caso, no se atribuirían propiedades sustanciales a constructos pero se atribuirían propiedades poseídas sólo por entidades en un bionivel particular a entidades pertenecientes a otro nivel. Llamamos a este error, que también conduce a enunciados ontológicamente mal formados, *mezcla de niveles*. Presumimos que este error se debe al tratamiento de organismos como miembros de poblaciones estadísticas, tal como cuando se grafica población (número de organismos) contra el total de alimento consumido (número de ítems alimenticios.) Entonces, resulta tentador

decir que la población consumió una cierta cantidad de alimentos, aunque en realidad son los organismos los que comen y digieren, no las poblaciones como individuos supraorganísmicos.

Es necesario dejar claro que, como las biopoblaciones son sistemas concretos, si fuera necesario podríamos formar un concepto análogo al de nicho de un organismo: el de nicho poblacional. Sin embargo, en ese caso sólo deberíamos hacer uso de propiedades poblacionales genuinas, como densidad de población. Sin embargo, cuando se habla del nicho de una "especie" (en realidad población), la mayoría de los autores incurre en la mezcla de niveles al referirse a propiedades organísmicas, no poblacionales. Después de todo, es cuestionable si las poblaciones como entidades supraorganísmicas tienen necesidades concernientes a ciertos recursos, que no sean reducibles a las necesidades de los organismos constituyentes.

Incluso si no tomamos en cuenta la mezcla de niveles, el concepto de nicho ecológico de un organismo no sería coextensivo con el de nicho ecológico de una población (o "especie como individuo"). La razón es la siguiente (Mahner, 1993a). El nicho ecológico de un organismo incluye las relaciones de éste con organismos coespecíficos, que claramente pertenecen al ambiente de un organismo. En contraste, el nicho ecológico de una población (o "especie-como-individuo") no puede contener relaciones con coespecíficos por definición sino, cuando mucho, relaciones con otras poblaciones o con organismos de especie diferente. (Esta última posibilidad presupone que una población como un todo puede interactuar con organismos singulares, suposición bastante cuestionable.) Así, mientras que las relaciones entre organismos coespecíficos pertenecen a la estructura externa de cada organismo en la población, las relaciones entre coespecíficos pertenecen a la estructura interna de la población (como un todo.) La noción de nicho ecológico, sin embargo, concierne sólo a la estructura externa del sistema en cuestión.

Para concluir, el concepto de nicho ecológico se refiere a organismos, no a poblaciones o especies. (Véanse también Reig, 1982; Eldredge, 1985b.) Lo cierto, sin embargo, es que el concepto de nicho concierne sólo a las propiedades especie-específicas o, más generalmente, tipo-específicas de los organismos. Como se dijo antes, los ecólogos están interesados en el nicho de los individuos *qua* miembros de cierta especie o *qua* miembros de algún taxón superior. Por ejemplo, tiene sentido hablar de los nichos de los murciélagos (individuales) *qua* murciélagos, es decir, *qua* miembros del taxón Chiroptera. Más aún, los ecólogos también están interesados en los nichos de los organismos *qua* miembros de clases extrasistemáticas, tales como grupos etarios, morfos, gremios y ecotipos (Hurlbert, 1981; Ricklefs 1990.) Sin embargo, nuevamente sería erróneo afirmar que tener un nicho es una propiedad de la clase etaria, el morfo, el gremio o el ecotipo, en vez de una propiedad de los organismos individuales pertenecientes a estas clases. Por supuesto, hablar del nicho de una especie, un gremio, un morfo, etc., es una *façon de parler* conveniente; pero es importante darse cuenta de que hacerlo así es sólo una taquigrafía elíptica.

A la luz del análisis precedente, un enunciado tal como "Toda especie tiene su propio nicho ecológico" es una elipsis, e insistimos en que debe ser traducida apropiadamente como "Todos los organismos de una especie dada tienen el mismo nicho ecológico". Esto no es un mero juego de palabras, ya que los nichos ecológicos han sido literalmente adscritos a especies, tal como en la famosa publicación de Hutchinson (1957) sobre el nicho ecológico, o en la definición de Mayr (1982) de una especie (como individuo): "Una especie es una comunidad reproductiva de poblaciones (reproductivamente aisladas entre sí) que ocupa un nicho específico en la naturaleza" (p. 273.) (Nótese, incidentalmente, otro ejemplo de mezcla de niveles en la definición de Mayr: atribuye la propiedad de reproducción [sexual] a poblaciones más que a organismos o, más precisamente, a parejas reproductivas.) Es más, algunos autores han argumentado que las especies (como presuntos individuos) son en algún sentido "unidades", o "entidades" o "totalidades" ecológicas porque poseen un nicho ecológico (p. ej., Van Valen, 1976c; Sudhaus y Rehfeld, 1992). Esta idea se desmorona al tomar en cuenta que son los organismos, no las especies, los que tienen nichos ecológicos. Más aún, por supuesto es legítimo usar propiedades ecológicas de los organismos para definir un taxón dado. Una especie definida predominantemente por rasgos ecológicos puede entonces clasificarse como una *ecoespecie*, igual que una especie definida predominantemente por caracteres morfológicos se denomina *morfoespecie*. El término 'ecoespecie', sin embargo, no debería malinterpretarse como referido a una totalidad concreta que interactúa ecológicamente.

Nuestro concepto de "nicho ecológico" pertenece a la familia de los llamados conceptos *funcionales* de nicho (Hurlbert, 1981; Schoener, 1989; Griesemer, 1992; Colwell, 1992.) En un concepto funcional de nicho, el nicho ecológico es una propiedad relacional (o funcional) de un organismo, de manera que no hay nichos vacantes o vacíos esperando a ser ocupados por los organismos. En resumen: sin organismo no hay nicho. (Véase también Günther, 1950; Hutchinson, 1957; Bock y von Wahlert, 1965; Odum, 1971; Osche, 1972; Schmitt, 1987; Ricklefs, 1990; Sudhaus y Rehfeld, 1992.) Sólo un espacio geográfico o *hábitat*, y no un nicho, puede estar ocupado o desocupado.

En contraste con los conceptos de nicho funcional más recientes, los primeros conceptos de nicho -introducidos por Roswell Johnson, Joseph Grinnell y Charles Elton- pertenecen a la familia de los conceptos de *nicho hábitat* o *ambientales* (Schoener, 1989; Colwell, 1992.) Aquí el nicho no es una propiedad del organismo sino del ambiente. Esto es, hay nichos que quedan vacantes al extinguirse una especie y nichos vacíos en espera de ser llenados al inmigrar o evolucionar "especies", tal como en una empresa hay puestos vacantes que serán cubiertos por algún empleado promisorio.

Ahora bien, la expresión 'nicho ambiental' tiene dos significados. Por un lado, ocasionalmente se usa simplemente en el sentido de "hábitat" (micro o macro), en cuyo caso es redundante. Por otro, se refiere a los potenciales, posibilidades u oportunidades que un hábitat dado tiene en oferta para ocupantes adecuados. Estos potenciales a veces también se denominan 'roles' o 'roles pros-

pectivos' así como 'licencias ecológicas' (Osche, 1972; Schmitt, 1987). Por ejemplo, en todo ecosistema hay "roles" para productores, predadores, parásitos, etc., que pueden ser "jugados" por diferentes organismos (especies) en diferentes regiones o en diferentes épocas, o en ambos. Más aún, existen los llamados *equivalentes ecológicos*, tales como antílopes (y otros) en la sabana africana, caballos en la estepa asiática y canguros en los pastizales australianos. Otro ejemplo son las hienas y los zorros árticos. Estos ejemplos ilustran la noción, bastante vaga, de nicho ambiental. Dejamos a los ecólogos determinar su relevancia para la teoría ecológica.

Después de estos problemas ontológicos en ecología, ahora nos abocamos a algunos de sus problemas metodológicos, en particular la cuestión del estatus científico de la ecología.

5.5 ESTATUS CIENTÍFICO DE LA ECOLOGÍA

Algunos ecólogos y filósofos piensan que la ecología es una ciencia "inmadura" o incluso "anómala" (Hagen, 1989). Otros afirman que es una ciencia aplicada antes que básica o pura (p. ej., Peters, 1991; Shrader-Frechette y McCoy, 1993). De acuerdo con los últimos, este (presunto) estado de cosas es correcto considerando el hecho de que la sociedad tiene derecho a esperar asesoramiento útil de los ecólogos para solucionar los graves problemas ambientales. De cualquier manera, considerando la enorme complejidad y variedad de sistemas ecológicos, todo lo que el ecólogo esperaría consiste en estudiar casos particulares (en vez de buscar teorías generales) y hacer predicciones útiles basadas en el análisis de correlaciones entre variables ambientales.

Antes de que podamos comentar estas interpretaciones, será de ayuda contar con una caracterización de la ciencia básica (o pura), de la ciencia aplicada y de la tecnología (véase Bunge, 1983b). Luego podemos aplicar esta caracterización a la ecología a fin de examinar su estatus con respecto a cualquiera de los campos mencionados.

5.5.1 *Ciencia básica*

La ciencia en general, así como una ciencia en particular (la ecología, por ejemplo), puede verse al mismo tiempo como un grupo de gente, una actividad y un cuerpo de conocimientos. Por razones obvias este último aspecto es el más interesante para el filósofo de la ciencia. Debemos tener presente, sin embargo, que esta concepción es una abstracción, ya que no hay cuerpos de conocimiento que existan por sí mismos (véanse capítulos 3 y 6).

Comenzamos por definir la ciencia (fáctica) básica en general, como una *familia de campos de investigación* (o *disciplinas*) *científicas*, donde una familia de disci-

plinas en particular es una colección de todos los miembros de *s* caracterizables mediante una decatupla

$$s = \langle C, S, D, G, F, E, P, A, O, M \rangle$$

donde en cualquier momento dado,

(i) *C*, la *comunidad de investigadores* de *s*, es parte de la comunidad científica general y se compone de personas que han recibido formación científica, mantienen fuertes lazos de información entre sí e inician o continúan una tradición de investigación científica;

(ii) *S* es la *sociedad* que contiene a *C* y anima o al menos tolera las actividades de los componentes de *C*;

(iii) *D*, el *dominio* o *universo del discurso* de *s*, es la colección de cosas concretas o reales (actuales o putativas) y sus cambios, presentes, pasados y futuros;

(iv) *G*, la *cosmovisión general* o *trasfondo filosófico* de *s*, constituido por los principios ontológicos, epistemológicos, axiológicos y morales que guían el estudio de *D*. Más precisamente, *G* comprende una ontología naturalista, una epistemología realista y un sistema de valores interno (endoaxiología) que se caracteriza particularmente por el ethos de la libre búsqueda de la verdad. El sistema de valores interno de la ciencia incluye *valores lógicos*, tales como la exactitud, la sistemicidad y la consistencia lógica; *valores semánticos*, tales como el significado definido con la consiguiente claridad, y máxima verdad o adecuación de las ideas a los hechos; *valores metodológicos*, tales como la testeabilidad y la posibilidad de un escrutinio y justificación de los mismos métodos empleados para poner ideas a prueba; y finalmente, *valores morales* y *de actitud*, tales como el pensamiento crítico, una mente abierta (pero no en blanco), veracidad, disposición a dar crédito a lo que merezca, etc. La endoaxiología de la ciencia a menudo se denomina 'el ethos de la ciencia' (Merton, 1973; Mohr, 1981.) La ciencia básica se halla libre de valores sólo en el sentido de que no hace juicios de valor sobre sus objetos de estudio o referentes -salvo quizás en cuanto a su adecuación como objetos de estudio con respecto a una determinada técnica disponible. Esto es, la ciencia básica no tiene sistema de valores externo o exoaxiología;

(v) *F*, el *fondo formal* de *s*, es una colección de teorías lógicas y matemáticas actualizadas que son (o pueden ser) utilizadas por los componentes de *C* para estudiar a los miembros de *D*;

(vi) *E*, el *fondo específico* de *s*, es una colección de ítems de conocimiento (datos, hipótesis y teorías) actualizados y razonablemente bien confirmados, obtenidos en otras disciplinas científicas relevantes a *s*,

(vii) *P*, la *problemática* de *s*, consta exclusivamente de problemas *cognitivos* concernientes a la naturaleza, particularmente las leyes, de los miembros de *D*;

(viii) *A*, el *fondo de conocimientos* de *s*, es la colección de ítems de conocimiento (datos, hipótesis y teorías) actualizados y bien confirmados, obtenidos por componentes de *C* en tiempos anteriores;

(ix) *O* es la colección de los *objetivos* de los componentes de *C* con respecto a su estudio de los miembros de *D*, en particular el descubrimiento de las leyes de los miembros de *D* así como su descripción, explicación y predicción;

(x) *M*, la metódica (a menudo mal llamada 'metodología') de *s*, es la colección de los métodos comprobables y explicables que los componentes de *C* pueden utilizar en el estudio de los miembros de *D*;

(xi) *s* tiene lazos fuertes permanentes con otras disciplinas científicas;

(xii) la pertenencia de cada una de las últimas ocho coordenadas de *s* cambia, aunque sea lentamente, como resultado de la investigación tanto de *s* como de campos relacionados.

Las primeras tres componentes de la decatupla constituyen lo que puede denominarse el *marco material*, y las últimas siete el *marco conceptual* de una disciplina científica. (Las últimas recuerdan uno de los muchos significados de la vaga noción de paradigma de Kuhn.) Las primeras pueden denominarse así porque tanto la comunidad de investigadores *C* como la sociedad anfitriona *S* son sistemas concretos, y el dominio *D* es una colección de cosas materiales. (El propósito explícito de incluir específicamente *C* y *S* es recordarnos que el conocimiento no existe por sí mismo; es una actividad ejercida por personas reales en un ambiente social concreto.) En cambio, las siete coordenadas restantes comprenden ítems conceptuales. (Nótese que aunque *M* puede involucrar cosas concretas, es decir, artefactos tales como microscopios, las técnicas de microscopía son ítems conceptuales.)

Finalmente, decimos que una disciplina que satisfaga sólo parcialmente las doce condiciones anteriores es una *semiciencia* o *protociencia*. Si una disciplina está evolucionando hacia el total cumplimiento de todas las condiciones, podemos llamarla ciencia *emergente* o en *desarrollo*. En cambio, si una disciplina no cumple con ellas es una disciplina *no científica*. Mientras que el epíteto 'no científico' no tiene por qué ser peyorativo, el epíteto *pseudocientífico* sí lo es. Usamos este último para denominar a las disciplinas que, aunque no científicas, son anunciadas y vendidas como científicas. Piénsese en el creacionismo "científico". (Para un análisis y evaluación del creacionismo de acuerdo con las condiciones precedentes, véase Mahner, 1986.)

5.5.2 *La ecología como ciencia básica*

Ahora invitamos al lector a que aplique esta caracterización general de una disciplina científica básica a la biología como totalidad o cualquiera de sus subdisciplinas, como la ecología. Si aplicamos las condiciones anteriores a la ecología se vuelve evidente que, aunque la ecología las cumple todas en el sentido más amplio, aún tiene problemas para cumplir algunas completamente. Por ejemplo, su fondo de conocimientos contiene muchos datos e hipótesis de nivel inferior, pero pocos enunciados legales y teorías generales –si tiene alguno (Bell, 1992.) Cuando se sugieren leyes$_2$ ecológicas tales como "Ninguna población puede cre-

cer en forma ilimitada" (Loehle, 1988), o son demasiado generales (quizás hasta la trivialidad), o altamente controvertidas, tales como el principio de exclusión competitiva. Por esta razón, el poder explicativo y predictivo de la ecología hasta ahora se encuentra limitado. Sin embargo, la ecología comparte esta carencia con las ciencias sociales. Y las razones de la inmadurez de una y otras parecen ser muy semejantes.

Estamos de acuerdo con McIntosh (1982) y Bell (1992) en que la inmadurez de la ecología se debe principalmente a la complejidad y la diversidad de los sistemas que constituyen su dominio: "...es justamente la variabilidad de hábitat a hábitat y de taxón a taxón la que frustra la búsqueda de regularidades ecológicas y una teoría satisfactoria, dando lugar a continuas controversias" (McIntosh, 1982:34). Esta complejidad y diversidad se acompañan de la vaguedad y ambigüedad conceptuales. En realidad, muchos conceptos ecológicos clave, como los de comunidad, estabilidad, balance y equilibrio, resultan notoriamente vagos (McIntosh, 1982; Shrader-Frechette y McCoy, 1993.) Y, por supuesto, la confusión conceptual, a su vez, constituye un impedimento para el progreso teórico de una disciplina. En particular, ciertos conceptos, como los de balance y competencia, a menudo parecen tener su sitio en ecología debido a la intuición, el sentido común y tal vez al prejuicio ideológico, y no a la evidencia científica. (La situación en las ciencias sociales es paralela.) Corrobórese el debate antes mencionado sobre hipótesis nulas en ecología.

Otro problema que surge de la complejidad y diversidad de los sistemas ecológicos es la dificultad de hacer experimentos de campo (Carpenter *et al.*, 1995). En particular, los estudios de campo pueden no ser exactamente replicables, y las variables y parámetros son difíciles o imposibles de controlar. Más aún, como las condiciones de campo son mucho más complejas y variadas que en el laboratorio, siempre puede ser controvertido si los resultados de los experimentos de laboratorio valen también para sistemas equivalentes en muchos aspectos (aunque en realidad mucho más complicados) en la naturaleza (Mertz y McCauley, 1982; Lawton, 1995; Roush, 1995.) Sin embargo, este problema no es particular de la ecología: toda la ciencia fáctica lo enfrenta.

Finalmente, la complejidad y diversidad de los ecosistemas dificultan su clasificación en tipos o especies claramente definidos. Aunque algunos ecosistemas, tales como los lagos de agua dulce o los bosques deciduos son por cierto semejantes en algunos aspectos, sigue siendo cuestionable si tal tipología es más que superficial, o sea, profunda o teóricamente significativa. En otras palabras, una teoría general sobre los sistemas ecológicos de un cierto tipo resulta posible sólo si los sistemas ecológicos realmente se presentan en tipos naturales, es decir, si hay sistemas ecológicos que posean las mismas $leyes_1$. Si un sistema ecológico es único, por supuesto no será ilegal en sentido ontológico, pero nos enfrentaremos al problema metodológico de distinguir entre sus propiedades legales e idiosincráticas. (Véase también sección 7.3.1.4.)

Otro aspecto que provoca que los sistemas ecológicos parezcan tan ingobernables es el hecho de que a menudo se trata de sistemas que exhiben una conduc-

ta caótica. Puesto que la noción (moderna) de caos nutre un importante y promisorio campo de estudios en varias disciplinas científicas –incluida la ecología– y, como, al mismo tiempo, el concepto de caos a menudo implica ciertos malentendidos, merece ser tratado en una sección aparte.

5.5.3 *Incursión: caos en los sistemas ecológicos*

Los científicos trabajan sobre la hipótesis (usualmente tácita) de que los objetos que estudian son legales u ordenados, incluso si no lo parecen. Este artículo de fe filosófica los impulsa en la búsqueda de patrones. Cuando los encuentran, su fe en la legalidad se ve reforzada. Cuando no logran descubrirlos, sospechan que están escondidos o dudan de sus propias capacidades antes que del principio de legalidad. (Postulado 1.4.)

Ahora, un desorden puede ser real o meramente aparente. Por ejemplo, una pila de residuos o un basurero son realmente desordenados: no hay orden en ellos. Sin embargo, se puede suponer que todo ítem en la pila aterrizó en ella siguiendo una trayectoria legal, aunque posiblemente complicada. Por eso, aunque pueda resultar inútil buscar orden en los residuos, puede dar resultados tratar de reconstruir hipotéticamente la trayectoria de cada ítem de ellos. Esto es de hecho lo que los paleontólogos hacen en sitios donde se entremezclan fósiles de orígenes diversos. En poco tiempo, tal sitio es el desordenado lugar de reposo final de ítems que presumiblemente llegaron allí de maneras perfectamente legales, aunque separadas.

Algunos patrones son conspicuos: piénsese en las imbricaciones, los pulsos, los ritmos circadianos o las marcas corporales de algunos animales. Otros son imperceptibles, por lo que se les debe inferir. Entre los patrones imperceptibles, tal vez los aleatorios y los "caóticos" sean los más intrigantes y los más difíciles de desentrañar y distinguir. De hecho, los patrones aleatorios y los "caóticos" se parecen: son altamente irregulares. Así, la mera inspección visual de una serie temporal irregular no nos dirá si es aleatoria, "caótica" o ni lo uno ni lo otro. La única manera de resolver este problema es inventar un modelo matemático (ya sea probabilístico o "caótico") y confrontarlo con la serie temporal dada, tal como en una gráfica de población *vs.* tiempo.

Hay dos diferencias importantes entre los patrones aleatorios y los "caóticos". Primero, mientras que aquéllos satisfacen leyes probabilísticas, éstos pueden ser no probabilísticos. Segundo, mientras que la aleatoriedad es difícil de controlar, el "caos" puede controlarse variando el parámetro relevante, es decir r en la famosa ecuación logística "$x_{t+1} = rx_t(1 - x_t)$". Incluso un cambio pequeño en el valor numérico de r puede resultar en cambios cualitativos de la población considerada, tales como transiciones de ciclos estacionarios a explosiones o colapsos.

Se ha sugerido hace ya un tiempo que el caos juega un rol importante en ecología, particularmente de poblaciones (véanse, p. ej., May, 1974: Simberloff, 1982). En realidad, un modelo "caótico" puede ayudar a describir e incluso pre-

decir, y apenas controlar ciclos poblacionales, explosiones y derrumbes. Sin embargo, sólo muy recientemente se produjo evidencia sólida para respaldar esta afirmación. Procedemos con una descripción breve de ese trabajo (Costantino *et al.*, 1995).

Costantino y sus colaboradores estudiaron poblaciones de escarabajos de la harina de la especie *Tribolium castaneum*. (Los miembros del género *Tribolium* son organismos modelo muy conocidos en ecología y biología evolutiva.) Primero, construyeron un modelo matemático (libre) de una población de esta especie. (Para la noción de modelo libre véase sección 3.5.3.) Luego diseñaron, efectuaron y analizaron un experimento a la luz de ese modelo. El modelo se construyó sobre una serie temporal de las poblaciones larval, pupal y adulta del escarabajo de la harina. Consta de un sistema de tres ecuaciones de diferencias finitas que relacionan estas tres poblaciones en cualquier momento dado y una unidad de tiempo posterior –el período de maduración larval de dos semanas. (Una de dichas ecuaciones se lee: $A_{t+1} = P_t \, exp(-c_{pa}A_t) + (1 - \mu_a)A_t$, donde A_t y A_{t+1} denotan las poblaciones adultas en los tiempos t y $t + 1$ respectivamente, P_t la población de pupas en el tiempo t, $c_{pa}A_t$ la probabilidad de supervivencia de la pupa en presencia de A_t adultos caníbales, y μ_a la tasa de mortalidad de los adultos.) Las ecuaciones contienen seis parámetros, cinco de los cuales derivan de anteriores estudios empíricos. El sexto es la tasa de mortalidad de los adultos μ_a. Es el parámetro de ajuste o "perilla de sintonía", dado que es manipulado por el experimentador.

El diseño experimental incluye cuatro poblaciones de cada una de dos cepas genéticas de escarabajo de la harina. Su rasgo crucial es que estas poblaciones se asignan al azar a cada uno de seis tratamientos: tasas de mortalidad de adultos μ_a de 0.4% (control), 4, 27, 50, 73 y 96%. Las mortalidades inducidas artificialmente compiten con los procesos espontáneos de reproducción, canibalismo y muerte natural.

Los resultados son como sigue. Un aumento de hasta diez veces en mortalidad de los adultos no tiene efectos decisivos sobre el número de larvas: la población disminuye, pero permanece en equilibrio estable. Sin embargo, cuando la mortalidad de adultos se eleva a 27%, aparecen pequeñas fluctuaciones regulares en la población de adultos, y oscilaciones grandes y sostenidas en el número de larvas. Un aumento de la tasa de mortalidad a 50% no introduce más novedades cualitativas: las poblaciones fluctúan periódicamente pero todavía se encuentran en equilibrio estable. Las fluctuaciones en una de las cepas parecen amortiguarse en una tasa de mortalidad del 73%. El gran salto cualitativo sólo aparece con la tasa de mortalidad de 96%, cuando en ambas cepas aparecen oscilaciones aperiódicas (aparentemente irregulares.) Esto es, un cambio cuantitativo drástico no resulta sólo en una disminución de lo mismo, sino en un nuevo patrón demográfico. Es más, las aperiodicidades aparecen cerca del límite en el cual, de acuerdo con el modelo, debería ocurrir una bifurcación –y la bifurcación es, por supuesto, la marca característica del caos. (Cuando la tasa de mortalidad se fija en 10%, el número de larvas puede disminuir radicalmente o elevarse de manera significativa. Las dos posibles tendencias poblacionales coexisten hasta coalescer

en una tasa de mortalidad de alrededor del 60% para una de las cepas genéticas, y 70% para la otra. Cuando μ_a se acerca al 100%, las poblaciones larvales comienzan a fluctuar de manera desbocada.)

Como se afirmó antes, tanto los ecólogos de campo como los de laboratorio habían observado ciclos poblacionales y oscilaciones aperiódicas en varias poblaciones antes de que se concluyera el trabajo citado, e incluso se sugirió en ocasiones la presencia del caos. Repetimos, sin embargo, que cualquier serie temporal dada puede interpretarse de maneras alternativas. En particular, se puede interpretar en términos ya de teoría del caos, ya probabilísticos, por ejemplo, como resultado de combinar una dinámica lineal con "ruido" (es decir, fluctuaciones estocásticas). Sólo la manipulación experimental del o los parámetros de ajuste que ocurren en un modelo matemático, y la predicción exitosa de los cambios resultantes en los números poblacionales, pueden ofrecer alguna garantía de que una dinámica determinada está en juego. La moraleja metodológica es obvia: diseñar experimentos ecológicos a la luz de algún modelo preciso.

Éste puede ser el lugar para prevenir contra cuatro creencias parcialmente incorrectas o totalmente falsas pero de cualquier manera populares sobre el caos: que caos equivale a falta de forma; que es una teoría completamente desarrollada que está invadiendo todos los campos de investigación; que implica una impredecibilidad absoluta; y el llamado efecto mariposa. El primer error es comprensible: la elección de la palabra 'caos' para designar la apariencia de aleatoriedad originado en cierta ausencia de linealidad fue desafortunada, porque 'caos' es una palabra antigua con significados totalmente diferentes pero relacionados: falta de forma, irregularidad e ilegalidad. En cambio, los procesos descritos por la "teoría" del caos son perfectamente legales. La *falsa aleatoriedad* habría sido una mejor elección, pero ahora puede ser demasiado tarde para promover semejante rebautismo. La segunda creencia popular enlistada antes –que la teoría del caos es una teoría propiamente dicha, es decir, un sistema hipotético-deductivo (véase sección 3.5)–, es incorrecta porque, hasta ahora, sólo hay una teoría general embrionaria y una colección de ejemplos que crece rápidamente, de mayor interés para los matemáticos que para los científicos fácticos.

Aún así, el campo se cultiva tan intensamente que debemos esperar de él una rica cosecha de particular interés para los ecólogos. De hecho, aparecen resultados importantes con mayor frecuencia. Uno de los más recientes es la hipótesis de que, cuando ciertos parámetros que caracterizan a las poblaciones de insectos se ajustan de manera tal que el sistema se ubica cerca del punto de transición entre orden cíclico y "caos", los ciclos regulares quedan momentáneamente interrumpidos, para volver al cabo de un tiempo: sufren una transición intermitente (Cavalieri y Koçak, 1995.) Sin embargo, hasta ahora sólo se ha realizado una simulación con modelos de esta hipótesis: la hipótesis optimista de que hay esperanza de recuperar el orden simple luego del inicio del "caos" aún aguarda la verificación experimental.

La creencia de que el caos implica impredecibilidad sólo es parcialmente correcta, ya que hay dos fuentes principales de impredecibilidad. La primera es la

inexactitud de los datos iniciales. Así, si se conociera exactamente la condición o condiciones iniciales -p. ej., la cantidad inicial de una población- y el valor de los parámetros, en particular los de ajuste, entonces las ecuaciones de dinámica no lineal nos permitirían calcular predicciones exactas siempre que tuvieran soluciones exactas, no meras soluciones numéricas aproximadas. (El que esas predicciones puedan resultar refutadas por los datos, es otro tema.) Por ejemplo, en el caso más simple y popular, el de la ecuación logística $x_{t+1} = rx_t(1 - x_t)$, la variable x_t eventualmente crece en forma exponencial para ciertos valores de la "variable de sintonía" r, de manera que incluso un pequeño error en el conocimiento de las condiciones iniciales trae aparejado un enorme error en la trayectoria predicha. Éste es, entonces, un caso de predecibilidad en principio pero impredecibilidad en la práctica: aquí la impredecibilidad se debe sólo a nuestra falta de conocimiento de las condiciones o parámetros iniciales.

En cambio, el segundo tipo de impredecibilidad es inherente a ciertas relaciones no lineales entre variables numéricas, como $x_{n+1} = 2x_n^2 - 1$. Paradójicamente, esto no vale para $x_{n+1} = x_n^2 - 1$. En verdad, iterar la segunda para cualquier número entre 0 y 1 arroja una secuencia periódica de números entre 0 y -1. Y en cambio, iterar $2x_n^2 - 1$ da una secuencia aperiódica de números entre -1 y +1 que *parece* aleatoria. Más bien, un valor ligeramente diferente de x_n no produce al principio ningún cambio notable en el resultado, pero, a medida que avanza la iteración, la nueva secuencia es totalmente diferente de la primera. Sin embargo, ambas secuencias son manifestaciones de exactamente el mismo patrón subyacente. Así, para ciertos valores del parámetro de control, un proceso real de repente "se ramifica en dos o más futuros posibles". La única manera de descubrirlos es el cálculo o el experimento. Sin embargo, como el proceso no es aleatorio no existe manera de asignar una probabilidad a cada rama o futuro posible. En este caso, el futuro mismo es indeterminado, y por consiguiente nuestro conocimiento de él es incierto.

En el caso del modelo del escarabajo de la harina, la impredecibilidad ocurre para sólo dos valores de la tasa de mortalidad de adultos μ_a. En particular, cuando este parámetro alcanza el 10% para una de las cepas genéticas, a la población correspondiente se le presentan, metafóricamente hablando, dos elecciones: disminuir a un cuarto o multiplicarse por seis. Éste es un caso de subdeterminación. Queda abierta la pregunta de si la subdeterminación puede eliminarse agregando una ecuación para la velocidad de cambio de μ_a.

Respecto al "efecto mariposa", éste consistiría en lo siguiente: el aleteo de una mariposa podría causar una tormenta en los antípodas. Este efecto fue sugerido por primera vez al analizar las famosas ecuaciones de Lorenz -y pasar por alto que ellas, aunque creación intelectual de un meteorólogo, no describen ningún proceso atmosférico posible, aunque esto se deba únicamente a que son bastante simples e incluso no dinámicas, sino cinemáticas. La energía de las ondas de choque generadas por el batir de las alas de una mariposa pronto se disipa en el aire circundante. Las tormentas reales presentan enormes transferencias y acumulaciones de energía, más allá incluso del poder de un enjambre gigante de

mariposas monarca en su migración de Canadá a México. En todo caso, casi todas las ecuaciones estudiadas por los teóricos del caos son estrictamente cinemáticas: es decir, no implican ningún mecanismo, mucho menos fuerzas. Incluso el modelo poblacional del escarabajo de la harina anteriormente discutido presenta sólo dos causas: canibalismo y regulación externa (experimental) de la mortalidad de adultos. Pero ninguna de estas causas se trata de manera dinámica, esto es, representándolas como fuerzas. De hecho, el canibalismo sólo se representa mediante su efecto en las poblaciones, y la mortalidad de adultos por los valores de μ_a.

Las moralejas de todo lo anterior para el científico experimental, en particular el ecólogo, son las siguientes: (a) las tablas y gráficos empíricos, tales como series temporales, no revelan patrones profundos, menos aún mecanismos ocultos; (b) la profundidad se encuentra en las teorías, no en las cifras o gráficos; (c) los resultados experimentales más concluyentes se derivan al combinar el experimento con la modelización matemática.

Habiendo señalado algunos de los beneficios potenciales de la "teoría" del caos para la ecología, cabe una advertencia final: 'caos' –igual que 'fractal', 'información' y principalmente, 'catástrofe' (véase capítulo 8)– se ha convertido en un seudotérmino ubicuo. A veces se utiliza para hacer creer que hay matemática sofisticada en un asunto donde en realidad no hay ninguna, o incluso para dar un aire de respetabilidad a la especulación desenfrenada. Por esta razón, recomendamos plantear a quienes hablan de caos en una forma demasiado aventurada y generosa la simple pregunta "¿Dónde están sus ecuaciones no lineales?".

En suma, el caos parece inherente a la conducta de muchos sistemas ecológicos. Sin embargo, la distinción entre caos y aleatoriedad es difícil: sólo puede aproximarse mediante los modelos matemáticos. Peor aún, la modelación exitosa de sistemas de laboratorio no garantiza su aplicabilidad a sistemas en la naturaleza, ya que lo que se comporta caóticamente en el laboratorio no necesariamente lo hará en la naturaleza, y viceversa (Wimsatt, 1982b). Por eso seamos pacientes con la joven y compleja ciencia de la ecología. La ecología puede ser una ciencia inmadura pero –*pace* Hagen (1989)– ciertamente, no una ciencia anómala.

5.5.4 *Ciencia aplicada y tecnología*

Hasta ahora, la ecología nos ha interesado como ciencia básica. Esto es, en la medida en que estudia las relaciones de los organismos con su ambiente así como la cinemática y la dinámica de las biopoblaciones, comunidades y ecosistemas sin considerar ninguna aplicación práctica. Sin embargo, tal como sucede con la mayoría de las disciplinas científicas, algunas ramas de la ecología son aplicadas.

Como la expresión 'ciencia aplicada' es ambigua, debemos distinguir al menos dos de sus significados. Primero, hablamos de ciencia aplicada cuando una disciplina científica (por ejemplo, su bagaje de conocimiento, o cierto método) se aplica a otra. Por ejemplo, tal como podemos aplicar la física y la química a la biolo-

gía, podemos aplicar la ecología a, digamos, la morfología funcional o la biología evolutiva. Segundo, hablamos de ciencia aplicada cuando los científicos investigan problemas cognitivos con *posible* relevancia práctica. Por ejemplo, el botánico que estudia una planta porque puede resultar útil para propósitos agrícolas o farmacológicos se dedica a la investigación aplicada. Lo mismo vale para el ecólogo que investiga insectos de un cierto taxón porque son plagas de las cosechas, de manera que el conocimiento de su ecología puede resultar útil para el control de plagas. A continuación abordaremos la ciencia aplicada sólo en este segundo sentido.

Al hacerlo, podemos distinguir la *ciencia aplicada* en general o cualquier ciencia aplicada en particular de sus contrapartes básicas o puras mediante las dos características siguientes. Primero, aunque los científicos aplicados tratan de resolver problemas cognitivos, lo hacen con auspicios en última instancia prácticos. Es decir, se supone que produzcan no sólo el hallazgo de un cierto ítem X, sino también la sugerencia de que X parece útil para producir un Y útil o para impedir un Z perjudicial. Segundo, el dominio D (o alcance) así como el bagaje de conocimiento A de una ciencia aplicada son subconjuntos del alcance y el bagaje de conocimiento de la ciencia básica correspondiente. En otras palabras, la ciencia aplicada es más estrecha que la ciencia básica.

Si el investigador da el paso que va del saber al hacer, esto es, si realmente diseña o produce un ítem útil o si impide la ocurrencia de un estado de cosas no deseable por medio del conocimiento tomado de la ciencia básica y aplicada, entonces se trata de un *tecnólogo*. En otras palabras, consideramos la *tecnología* como el diseño, realización, operación, mantenimiento o monitoreo de cosas o procesos de posible valor práctico para algunos individuos o grupos, con ayuda del conocimiento ganado en la investigación básica o aplicada (Bunge, 1983b, 1985b). Si no hay conocimiento científico involucrado, aunque quizá un vasto cuerpo de conocimiento empírico y una habilidad manual excelente, hablamos de *técnica*.

Nótese que nuestra definición de "tecnología" es muy amplia: subsume no sólo las clásicas tecnologías físicas, tales como la ingeniería eléctrica o mecánica, sino también biotecnologías como la ingeniería genética, la medicina y la agronomía; psicotecnologías, tales como la psiquiatría y la educación; sociotecnologías tales como el derecho y el planeamiento urbano; y, finalmente, tecnologías generales, tales como teoría del control y los sistemas lineales, además de "ciencias" de la computación. Finalmente, así como hay pseudociencias también hay *pseudotécnicas* tales como la rabdomancia, y *pseudotecnologías* tales como el psicoanálisis, la astrología y la homeopatía.

Mientras que una ciencia básica está caracterizada por una decatupla $\langle C, S, D, G, F, E, P, A, O, M\rangle$, tal como se explicó en la sección 5.5.1, una tecnología puede caracterizarse por una endecatupla $\langle C, S, D, G, F, E, P, A, O, M, V\rangle$. La nueva coordenada V señala que además del sistema interno de valores compartido con la ciencia básica, la tecnología tiene un *sistema de valores externo* o *exoaxiología*. Esto es, mientras que los científicos básicos no hacen juicios de valor acerca de los

referentes u objetos de su investigación, aparte de los necesarios para los propósitos cognitivos, los tecnólogos deben evaluar las cosas naturales y artificiales en su utilidad práctica y eficiencia. Por ejemplo, mientras que los juicios de valores de los científicos básicos acerca de los objetos de su investigación son a lo sumo enunciados del tipo "Los miembros de *Drosophila* son muy adecuados para estudiar genética y desarrollo", los científicos aplicados hacen juicios de valor de la forma "El conocimiento de la historia de vida de los organismos de la especie *S* puede ser útil para controlar su dinámica poblacional". Los tecnólogos eventualmente hacen juicios de valor, como "La sustancia química *C* es útil y eficiente para controlar o disminuir las poblaciones de organismos plaga de la especie *S*".

Además de *V*, también hay varias diferencias entre la ciencia y la tecnología con referencia a las coordenadas restantes. Baste mencionar sólo unas pocas de ellas (más en Bunge, 1985b; Mitcham, 1994). Primero, la comunidad tecnológica *C* no es tan abierta ni tan internacional como la comunidad científica, porque las patentes y el secreto industrial limitan la circulación de conocimiento tecnológico. Segundo, dentro de *G* el ethos de la tecnología a menudo no es el de la investigación libre y desinteresada al servicio de la humanidad, sino un trabajo orientado a metas específicas. Tercero, las diferencias principales entre ciencia y tecnología conciernen en mayor medida a las coordenadas *P* y *O*, ya que la problemática y los objetivos de la tecnología son, por supuesto, prácticos –es decir, orientados a la acción– más que cognitivos. Así, el tecnólogo no está interesado principalmente en las cosas en sí mismas, sino en las cosas para nosotros y bajo nuestro control. También podríamos decir que mientras los científicos, ya sean básicos o aplicados, cambian las cosas para conocerlas, los tecnólogos las estudian para cambiarlas.

En suma, aunque no hay fronteras abruptas entre la ciencia básica, la ciencia aplicada y la tecnología, la ciencia y la tecnología son bastante diferentes y no deberían confundirse, como a menudo se hace, en particular, como las confunde la muchedumbre anticientífica tanto dentro como fuera de la academia.

5.5.5 *Ecología: ¿básica, aplicada o tecnológica?*

Cuando estudiamos la ecología de, digamos, los áfidos para fines puramente cognitivos, hacemos ciencia básica. Cuando estudiamos la ecología de los áfidos para obtener un conocimiento útil y así hallar una cierta sustancia química o una especie predadora que ayudará a controlar la población de áfidos, realizamos investigación aplicada. Y cuando diseñamos o mejoramos ciertas sustancias químicas o experimentamos con diferentes poblaciones de predadores (p. ej., mariquitas) para encontrar la mejor manera de controlar las poblaciones de áfidos porque los consideramos plaga, nos dedicamos a la *ecotecnología*. También hacemos ecotecnología si simplemente tratamos de impedir que ciertos ecosistemas cambien, esto es, si queremos preservarlos. Después de todo, la conservación de ecosistemas incluye diseño, planificación y gestión. A menudo debemos tomar decisiones

acerca del tamaño adecuado de un área que debe preservarse, sobre la necesidad de conexiones (o corredores) entre ecosistemas similares y acerca de la necesidad de controles artificiales (p. ej., la caza) de poblaciones particulares del hábitat que se preservará. Todo esto es ecotecnología.

Debido a la presión de los graves problemas ambientales de nuestro tiempo, resulta sin duda admirable que muchos ecólogos intenten hacer algo útil por el ambiente, esto es, que se centren en la ecología aplicada y la ecotecnología. Sin embargo, el filósofo de la ciencia debe prevenir contra la tentación de sostener que la ecología *es* simplemente una ciencia aplicada (Shrader-Frechette y McCoy, 1993, p. 150), o incluso que la ecología sólo debería ser aplicada e instrumental, es decir, una ecotecnología: "La división entre ciencia pura y aplicada es innecesaria y peligrosa. Si hay problemas ambientales acuciantes, entonces el mundo necesita una ciencia para manipular y controlar el ambiente... " (Peters, 1991, p. 186).

Como vimos antes, debido a la complejidad y variabilidad de los sistemas ecológicos, los ecólogos tienen dificultades para producir teorías y enunciados legales generales. Sin embargo, ¿a consecuencia de ello deberíamos dejar toda la ecología básica y en cambio centrarnos en la ecotecnología como lo sugiere Peters? No lo creemos. Primero, se supone que la ecotecnología propiamente dicha (en oposición a la ecotécnica e incluso la pseudoecotecnología) se basa en el conocimiento científico. Este conocimiento no lo ofrece la ecotecnología misma sino la ecología básica o aplicada. Por ejemplo, si necesitamos una regla de la forma "Para obtener *B*, hágase *A*" (o de otra manera, "A fin de evitar *B*, absténgase de hacer *A* o impídase *A*"), no resulta suficiente que *A* y *B* se encuentren meramente correlacionados: debe haber una relación *legal* entre ellos. (El enunciado legal correspondiente es "Si *A*, entonces *B*".) Por esto es que llamamos 'enunciados nomopragmáticos' a las reglas basadas en leyes (recuérdese sección 3.5.8). Sin embargo, las leyes_2 sólo se buscan en ciencia básica e involucran al menos modelos libres o, mejor aún, teorías generales. Como a la ecología aparentemente le faltan teorías que sean a la vez generales y verdaderas, debemos requerir al menos un modelo libre que muestre que alguna correlación de las variables es legal. Por supuesto, una intervención puramente empírica en las variables puede traer accidentalmente algún efecto, de manera que podemos inferir a partir de la confirmación repetida de, digamos "$A \Rightarrow B$" que (los referentes) *A* y *B* deben estar aparentemente relacionados en forma legal. Sin embargo, esto no es hacer ciencia y revela una notable falta de curiosidad el no interesarse en qué hay detrás de esta correlación y cómo se relaciona con otras variables. De hecho, "[...] algunos de los más persistentes y polémicos temas de la ecología se evaporan cuando se ignoran la causa, el mecanismo y la explicación" (Peters, 1991, p. 146). Lamentablemente, al mismo tiempo la ecología también se evapora como ciencia.

No debe sorprender, por lo tanto, enterarnos de que Peters defienda el instrumentalismo. Ésta es la tesis de que las teorías científicas no son sino sumarios descriptivos de observaciones pasadas, así como instrumentos para la predicción. Esta idea fue sostenida, por ejemplo, por el cardenal Bellarmino, por positivistas como Comte y Duhem y por empiristas lógicos tales como Ryle y Toulmin. Re-

cientemente, Rosenberg (1989, 1994) abrazó el instrumentalismo en biología, psicología y ciencias sociales. El problema con el instrumentalismo no es que sea falso. Después de todo, el realista científico también cree que las teorías describen y ayudan a predecir. El problema radica en la tesis de que esto es todo lo que las teorías científicas pueden o deberían poder hacer. El instrumentalismo desanima la explicación porque no está interesado en la verdad ni en las cosas detrás de las apariencias, y así no puede explicar el éxito ni el fracaso de las teorías científicas. En contraste, el realismo científico, por medio de la referencia a entidades transfenoménicas y la sistemicidad (o si se prefiere, la consiliencia) del conocimiento científico, anima a la explicación. En resumen, el instrumentalismo es inferior al realismo científico. (Y si se permite un juicio no filosófico, es simplemente aburrido. Más sobre instrumentalismo en Popper, 1962 y Vollmer, 1990.)

Aún así, podría argumentarse que, aunque estéril desde una perspectiva realista, el instrumentalismo es aceptable en la medida en que contribuye a resolver problemas ambientales. Seguro. Pero también podemos tener todos los beneficios que se atribuyen al instrumentalismo en una ecología científica, que de hecho se presenta como una ciencia básica y aplicada. Por eso, *pace* Peters, lo peligroso no es la distinción entre ecología básica y aplicada, sino la distorsión, o mejor dicho, la castración de la ciencia involucrada en el instrumentalismo.

Para concluir, fomentemos la ecología en tres formas: básica, aplicada y tecnológica. Sin embargo, ya que la ecología básica es aún una ciencia en desarrollo, no debería sorprendernos que el poder de la ecotecnología para solucionar problemas ambientales sea limitado. Después de todo, el flujo de conocimiento más fuerte va de la ecología básica a la aplicada y de ésta a la ecotecnología. Si no hay de dónde tomar conocimiento básico y general, la ecología aplicada y le ecotecnología permanecen como empresas fragmentarias de poder muy limitado. Por esto es que Shrader-Frechette y McCoy (1993) están en condiciones de afirmar que la ecología es una ciencia del estudio de casos particulares. Aunque de hecho es así hasta cierto punto, no debemos quedarnos satisfechos con este estado de cosas.

5.5.6 *Ecología: ¿una ciencia autónoma?*

A menudo se dice que la biología es una ciencia autónoma (p. ej., Ayala, 1968; Mohr, 1981; Mayr, 1982). A su vez, también se dice ocasionalmente que la ecología es una ciencia autónoma dentro de las ciencias biológicas. Sin embargo, ¿qué significa "autónomo"? (Véase Simon, 1971 para un análisis alternativo.) Por su etimología, "autónomo" significa "que tiene leyes propias". Curiosamente, la existencia de leyes biológicas (o al menos, de leyes significativas o no triviales) es justo lo cuestionado por Mayr y otros autonomistas. De manera similar, como vimos antes, la existencia de $leyes_2$ en ecología también es tema de controversia.

Una connotación relacionada con "autónomo" es "independiente". Decimos que una ciencia *A* es *independiente* de otra ciencia *B* si y sólo si todos los proble-

mas en *A* pueden resolverse sin usar ningún hallazgo de *B*. Si no, *A depende* de *B*. Así, mientras la física es independiente de la biología, la biología depende de la física. En realidad, la biología (y por lo tanto la ecología) establece un vasto contacto con otras disciplinas también, tales como la química y las ciencias de la tierra: la biología (y por lo tanto la ecología) es parte del firmemente entretejido sistema de las ciencias naturales. (Esto se vuelve evidente cuando examinamos el trasfondo de conocimientos de la biología o la ecología, respectivamente: véase la coordenada *E* en la sección 5.5.1.) Si la biología o la ecología, de manera respectiva, fueran ciencias independientes, remplazarían a la física como ciencia básica o serían campos aislados –en cuyo caso se violarían las condiciones (vi) y (xi) dadas en la sección 5.5.1 y deberíamos clasificarlas como pseudociencias. Obviamente, ninguna de las alternativas es verdadera.

Lo que los "autonomistas" en realidad quieren decir cuando se refieren a la biología o a la ecología como ciencias autónomas es que la biología, y de un modo semejante la ecología, son ciencias por derecho propio, ya que la biología no es reductible a la física y la química –en particular la "biología" molecular–, y que la ecología no es reductible a otras disciplinas biológicas. Ahora bien, mucho se ha escrito sobre biología y reduccionismo (véase sección 3.6.3, así como Rosenberg 1985) y no vemos necesidad de repetir aquí todos los argumentos. Sin embargo, quisiéramos enfatizar que el argumento más fuerte en contra del reduccionismo radical es ontológico, no epistemológico. Si la ontología materialista-emergentista que subyace a la biología (y en realidad, a todas las ciencias fácticas) es correcta, entonces el *bios* constituye un nivel óntico distinto, de manera que las entidades en él se caracterizan por propiedades emergentes. Las propiedades de los sistemas bióticos, entonces, no son (ontológicamente) reductibles a las propiedades de sus componentes, aunque seamos capaces de explicarlas y predecirlas parcialmente a partir de las propiedades de éstos. Recordando el análisis CES de los sistemas (sección 1.7.2), se vuelve obvio que la creencia de que se ha reducido un sistema al exhibir su composición, que de hecho no es sino física y química, resulta insuficiente: la física y la química no dan cuenta de la estructura, en particular de la organización, de los biosistemas ni de sus propiedades emergentes (véase también fig. 4.1).

Por lo tanto, Mayr (1982) está en lo correcto al utilizar el concepto ontológico de emergencia para argumentar en favor de la autonomía de la biología. (Recientemente, Gasper [1992] ha argumentado en favor de la irreductibilidad de la genética a la biología molecular mediante referencia a la ontología, aunque lamentablemente usó la mal concebida noción de superviniencia, criticada en la sección 1.7.3; y Rosenberg [1994] ha afirmado que la irreductibilidad ocasiona una concepción instrumentalista de la biología.) Sin embargo, no logra darse cuenta de que la tesis acerca de que los biosistemas tienen propiedades emergentes provoca que tengan $leyes_1$ propias, de manera que su defensa de la autonomía de la biología y sus dudas sobre la existencia de leyes en biología son mutuamente inconsistentes. (Recientemente, Mayr parece haberse vuelto menos antinomianista, admitiendo que la biología tiene leyes propias: véase su 1996, p. 105.) Es más, a la luz del materialismo emergentista, todas las disciplinas científicas tratan

con entidades que pertenecen a algún nivel de organización y que así tienen (deben tener) leyes$_1$ propias. De esta manera, todas las disciplinas científicas son autónomas en este sentido, por lo que una defensa especial de la biología como ciencia autónoma parece innecesaria desde este punto de vista.

Esta defensa, sin embargo, no es trivial desde una perspectiva histórica. Por un lado, el programa de unificación del neopositivismo intentaba unificar todas las ciencias reduciéndolas a la física (recuérdese la sección 3.6.3.2.) Por otro, aunque ya no se intente reducir la biología a la física, ahora enfrentamos la afirmación de que la mayor parte de la biología, si no toda, es reductible a la biología molecular. Confiamos en que este programa fallará tan miserablemente como su precursor neopositivista.

Como quda implícito en lo anterior, lo que vale para la biología como un todo también es cierto para la ecología. En particular, el carácter distinto (autonomía) de la ecología deriva de su dominio, en el cual las entidades pertenecen a varios bioniveles distintos. Por lo tanto, no podemos esperar que la ecología de poblaciones sea reductible a la ecología organísmica (es decir, autoecología), o que la ecología de ecosistemas sea reductible a la ecología de poblaciones. (Sin embargo, el reduccionismo moderado es una estrategia útil: véase sección 3.6.3.2, y Schoener, 1986.) Más bien, en cada nivel deberíamos esperar una novedad cualitativa, por lo tanto nuevas leyes$_1$. No hace falta repetir que las dificultades metodológicas para descubrir tales leyes y su representación apropiada en términos de enunciados legales en teorías ecológicas son temas completamente distintos.

Para terminar, no sólo la biología, sino también la ecologia, es una ciencia *distinta* (autónoma$_1$) en el sentido de que trata con entidades en diferentes niveles ónticos. Sin embargo, ni la biología ni la ecología son ciencias independientes (autónomas$_2$), ya que se relacionan con otras disciplinas científicas de muchas maneras diferentes: son parte del sistema de las ciencias (especiales.) Es más, aunque ontológicamente autónomas, no son metodológicamente autónomas: sólo las pseudociencias lo son. En realidad, la biología comparte un método común con todas las demás ciencias, lo que no implica que no haya lugar para posibles peculiaridades metodológicas, tales como la explicación narrativa o funcional (teleológica.) No obstante, la cuestión de si existen realmente tales diferencias metodológicas es motivo de controversia, de manera que los filósofos de la biología estarán bastante ocupados por un tiempo, ya sea estableciendo las diferencias reales o reduciendo las categorías previamente supuestas a categorías metodológicas conocidas.

6 PSICOBIOLOGÍA

Habiendo elucidado las nociones de función y rol en el capítulo 4, ahora podemos echar una mirada a la función del órgano más complejo, intrincado y fascinante conocido por los biólogos: el cerebro, en particular el humano. Es interesante cómo los problemas filosóficos concernientes a la función de este órgano, en particular el famoso problema mente-cuerpo, usualmente no son tratados en filosofía de la biología propiamente dicha sino dejados a la llamada *filosofía de la mente*. Sólo unos pocos biofilósofos han considerado el problema mente-cuerpo, entre ellos Rensch (1971.) (Lamentablemente abrazó el panpsiquismo, el cual no sólo carece de respaldo empírico sino que también sufre de defectos análogos a los del hilozoísmo: recuérdese sección 4.2 y véase Vollmer, 1985, vol. 2.) Sin embargo, si la filosofía de la mente ha de ser compatible con la ciencia, debe tomar en cuenta a la biología, en particular la neurociencia, de manera que se convierte en parte integral de la filosofía de la biología. Por lo tanto, haremos una incursión en esta área. Sin embargo, antes de hacerla será conveniente recordar algunos de los logros del enfoque biológico de la conducta, el afecto, la cognición y la volición -los cuatro temas principales de la psicología.

6.1 LOGROS DEL ENFOQUE BIOLÓGICO DE LA PSICOLOGÍA

La psicología clásica o prebiológica se concebía como el estudio del alma o la mente, entidad supuestamente inmaterial y quizás inmortal. Este estudio alcanzó algún éxito al describir algunos rasgos de conducta abierta y experiencia subjetiva, en particular percepción, aprendizaje y memoria. Sin embargo, como era considerada una disciplina autónoma, no aprendía nada de la física, la química ni la biología -en particular la neurociencia y la biología del desarrollo. Y como ignoraba el sistema nervioso central, la psicología clásica era incapaz de explicar incluso los pocos hechos que era capaz de describir -dado que la explicación, según se recordará, involucra conjeturar o revelar mecanismos, que son procesos en cosas concretas. Por la misma razón, no resultaba de ayuda en la tarea de "mapear la mente en el cerebro", esto es, de localizar las distintas funciones mentales -una herramienta indispensable de la neurocirugía.

Todo esto comenzó a cambiar en el siglo XIX con la emergencia de la psicología fisiológica, cuyos padres fueron Flourens, Broca, Wernicke y von Helmholtz, seguidos en la primera parte del siglo XX por Hess, Papez y otros más. Sin embargo, la mayoría de los psicólogos no notó este nuevo enfoque sino hasta mediados de siglo, cuando Penfield evocó procesos mentales aplicando corrientes eléctricas

débiles al córtex cerebral en vigilia, y Hebb introdujo su hipótesis de la *sinapsis de Hebb* y del *ensamblaje de células*, formado cuando dos o más neuronas se disparan juntas. Desde entonces, la psicobiología hizo algunos descubrimientos espectaculares, más allá del alcance de la psicología clásica. Baste la siguiente lista: efecto de las sales de litio sobre la depresión; localización del centro del placer; sueño "paradójico"; pérdida de la memoria reciente luego de la remoción quirúrgica de ciertas partes del cerebro; localización de las memorias en idiomas diferentes; cambios estacionales en el patrón del canto de pájaros acompañados por el nacimiento y muerte de neuronas en sus núcleos del canto; cambios químicos concomitantes de la adicción a las drogas; efectos de los procesos emocionales sobre la morbilidad y la mortalidad; brote de dendritas y botones sinápticos bajo la acción de radiación u hormonas; localización de la percepción de la novedad; efectos de cambios hormonales sobre el estado de ánimo; pérdida de la memoria en pacientes del mal de Alzheimer como efecto de la muerte de neuronas; efectos de la experiencia sobre la organización del córtex; y en último lugar, pero no por ello menos importante, el descubrimiento de interacciones fuertes entre los sistemas nervioso, endocrino e inmune, así como entre los varios subsistemas del cerebro tales como el córtex, el sistema límbico y el cuerpo pituitario.

El sensacional éxito del enfoque biológico de lo mental confirmó, y refinó considerablemente, las hipótesis materialistas de Hipócrates y Galeno de que los procesos mentales son procesos cerebrales, de que todas las funciones mentales (excepto la memoria) se encuentran localizadas ahí, y de que los desórdenes mentales son desórdenes cerebrales. Sin embargo, éstos son los temas de las siguientes secciones.

6.2 EL PROBLEMA MENTE-CUERPO

El problema mente-cuerpo es el sistema de preguntas sobre la naturaleza de lo mental y su relación con lo corporal. Algunas de éstas son: ¿Son el cuerpo y la mente dos entidades separadas? Si es así, ¿cómo se mantienen juntas en el organismo? ¿Cómo se ponen en contacto al inicio, y cómo se separan a llegar el fin, y qué ocurre con la mente luego de la degradación del cuerpo? ¿Interactúan estas entidades, y de ser así, cómo? ¿Cuál de las dos, si es que alguna, prevalece? Si en cambio no son entidades diferentes, ¿es corpórea la mente? ¿O es el cuerpo una forma de la mente? ¿O ambas son manifestaciones de una sola sustancia (neutra)?

De acuerdo con las respuestas que se dé a estas preguntas, podemos distinguir dos familias de doctrinas. La primera, que considera que mente y cuerpo son dos entidades separadas, se denomina *dualismo psicofísico* (o *psiconeural*), ingrediente de todas las religiones y filosofías idealistas. Idealistas famosos, por ejemplo, son Platón, Descartes, Leibniz, Freud, Wittgenstein, Eccles y Popper. Las variedades más populares del dualismo son el animismo y el interaccionismo. De acuerdo con el animismo, la mente inmaterial (o quizá el alma) actúa sobre el cuerpo pe-

ro no a la inversa, mientras que el interaccionismo, tal como el nombre lo sugiere, afirma que la mente (inmaterial) y el cuerpo (material) o cerebro, interactúan. (No hace falta decir que la naturaleza de esta interacción permanece como un misterio. Además, semejante interacción violaría la ley de conservación de la energía.) Obviamente, la noción de una mente inmaterial que pilotea la conducta humana está profundamente atrincherada en la historia humana. Es más, esta idea se encuentra detrás de la cosmovisión teleológica, que consiste en explicar el mundo en términos de agentes que actúan guiados por propósitos: Dios gobierna el cosmos, la selección natural empuja y dirige la evolución, y el programa genético guía y dirige el desarrollo. Todo esto ha sido superado *de jure* pero no *de facto*: en realidad, a algunos científicos y filósofos todavía les cuesta abandonar estas ideas primitivas.

La segunda familia de doctrinas, que asume una sola entidad, se conoce como *monismo psicofísico* (o *psiconeural*.) El monismo puede ser idealista (Berkeley, Fichte, Hegel), neutral (Spinoza, Carnap, Feigl) o materialista. Este último, a su vez, viene en unas cuantas variedades: eliminativo (Watson, Skinner, Ryle), reduccionista o fisicalista (Epicuro, de la Mettrie, Smart, Armstrong, Quine) y emergentista (Diderot, Ramón y Cajal, Hebb, Luria, Mountcastle, Bindra, Vollmer.) Como las variedades de dualismo y monismo han sido examinadas en otra parte (Bunge 1980; Bunge y Ardila 1987; véase también Vollmer 1985, Vol. 2) y como aquí estamos tratando filosofía de la biología y no de la psicología, restringiremos nuestras meditaciones al único tipo de monismo materialista que, según afirmamos, es consistente con la biología: el *materialismo emergentista*.

Sin embargo, antes de eso debemos echar una mirada rápida a una concepción que resulta más difícil de clasificar. Según ésta, todo lo mental es computación o algoritmo neutrales con respecto al substrato -posición conocida como *funcionalismo*. Como, de acuerdo con esta concepción, la función puede desprenderse de la sustancia o "sustrato", esto es, la materia, los funcionalistas creen que cualquier función mental dada puede ser ejercida no sólo por haces de tejido nervioso sino también por máquinas (particularmente computadoras), y quizá incluso por espíritus desencarnados (véase, p. ej., Putnam, 1975, vol. 2; Dennett, 1978; Block, ed., 1980; Fodor, 1981; Pylyshyn, 1984; más sobre la heterogénea colección de concepciones subsumidas bajo el rótulo 'funcionalismo' en Block, 1980a, b.) Así, los funcionalistas "abstraen del detalle físico [material]": no están interesados en las neuronas, células gliales, dendritas, neurotransmisores, botones sinápticos o siquiera sistemas multicelulares tales como el córtex estriado, la amígdala y el hipocampo -los mismos órganos de la conducta, la emoción y la ideación. Sólo están interesados en "funciones" en sí mismas (en particular, programas de computación o algoritmos abstractos) sin considerar la manera en que se hallan "corporizados" o materializados.

Así, parece haber dos entidades: función y "sustrato" -o mente y materia- que se relacionan entre sí como software y hardware. Es más, la función (o software) es claramente la más importante de las dos. Por esta razón, consideramos al funcionalismo una doctrina dualista, más allá de las afirmaciones de algunos funcionalistas

de que es materialista (p. ej., Dennett, 1978), o bien ni dualista ni materialista (p. ej., Fodor, 1981). (Nótese que lo opuesto al dualismo es el monismo, no el materialismo; pero todas las concepciones materialistas son monistas, mientras que lo inverso no es cierto.) Después de todo, si la mente es alguna clase de software, en principio puede desprenderse del cerebro y transmitirse a, y ejecutarse en, algún otro sustrato o "transportador". Quizá podríamos incluso hacer funcionar dos o más mentes en un cerebro, por ejemplo la de un amigo fallecido. Todo esto es claramente imposible de acuerdo con el materialismo emergentista.

En cualquier caso, el funcionalismo es más popular entre ciertos filósofos y cultores de la inteligencia y de la vida artificiales que entre biólogos y psicólogos. En realidad la neuropsicología, en particular la neurociencia cognitiva, rechaza lo que Kosslyn y Koenig (1995) adecuadamente denominan el *enfoque de la mente seca* en comparación con el *enfoque de la mente húmeda*, de acuerdo con el cual "la mente es lo que hace el cerebro" (véase también Beaumont *et al.*, 1996). Al ignorar la materia (excepto quizá como un portador de funciones composicionalmente neutro), el funcionalismo desanima la investigación neurocientífica; y al enfocarse en la computación, desestima el estudio neurobiológico y psicológico de los procesos mentales no algorítmicos tales como la percepción, la emoción, la imaginación, la formación de conceptos, el pensamiento analógico, la conjetura y la evaluación. Así, el funcionalismo no sugiere una estrategia de investigación heurísticamente fructífera para la psicobiología. De hecho, uno de sus fundadores la ha repudiado después de defenderla durante tres décadas: véase Putnam (1994.) Expresamos nuestro acuerdo, y volvemos por fin al materialismo emergentista.

El monismo psiconeural emergentista es parte fundamental de la concepción según la cual el universo es material y está en continuo flujo. Se resume en las siguientes tesis (Bunge, 1980):

1. Todos los estados, eventos y procesos mentales son estados del cerebro de algún organismo, o eventos y procesos en el mismo.
2. Estos estados, eventos y procesos son emergentes en relación con los de los componentes celulares del cerebro.
3. Las llamadas relaciones psicofísicas (o psicosomáticas) son interacciones entre diferentes subsistemas del cerebro, o entre algunos de ellos y otros componentes del organismo, tales como los sistemas muscular, digestivo, endocrino e inmunitario.

Sostenemos que sólo adoptando esta concepción es posible hablar de *psicobiología* propiamente dicha. Desde esta perspectiva psicobiológica, la misma expresión 'problema mente-cuerpo' es una anomalía científica. No hablamos del problema movimiento-cuerpo en mecánica, ni del problema reacción-sustancia en química, o del problema respiración-pulmón en fisiología. En cambio, hablamos del movimiento *de* los cuerpos, de la función respiratoria *de* los pulmones, etc. No reificamos propiedades, estados o procesos, salvo cuando se trata de las propiedades, estados y procesos del sistema nervioso. Así, aun podemos encontrar expresiones anómalas, es decir, dualísticas, en la literatura neurocientífica, tales como 'la *base* neurofisiológica de la mente', '*correlativas* neurales de las funciones

mentales', '*equivalentes* fisiológicos de los procesos mentales', o '*representación* neural de los procesos mentales'. En contraste, apenas si un fisiólogo podría hablar, por ejemplo, de la 'base renofisiológica de la excreción' sólo porque la excreción es justamente lo que hacen los riñones. (Sin embargo, ocurren caídas ocasionales en la reificación de procesos. Así, en la estela de Whitehead y Woodger, Løvtrup 1974, p. 226, habla de la "base material del desarrollo".)

Por razones de consistencia científica y filosófica, entonces, resulta imperativo eliminar tales anomalías de la neurobiología. No hay procesos o actividades en sí mismos, es decir, aparte de los sistemas concretos cambiantes. Por ejemplo, si la mentación es (idéntica a) una actividad del cerebro (o de alguno de sus subsistemas), entonces sería obvio que no hay una 'identidad mente-cerebro' -una expresión ocasionalmente hallada en la literatura. Un órgano no es idéntico a su función o actividad. No hay más identidad mente-cerebro que identidad respiración-pulmón, excreción-riñón, marcha-pierna o músculo facial-sonrisa.

Expongamos brevemente cómo podrían concebirse conceptos tales como mente, conciencia y "yo" desde un punto de vista psicobiológico (siguiendo a Hebb, 1949, 1980; Bindra, 1976; Bunge, 1977b, 1979a, 1980, 1981a; Bunge y Ardila, 1987.)

6.3 ESTADOS Y PROCESOS MENTALES

Los componentes de sistemas nerviosos de máxima importancia para la psicobiología son, por supuesto, las neuronas y los sistemas o redes en los que varias neuronas pueden estar conectadas. En el vapítulo 3 hemos introducido varias nociones básicas tales como conectividad de neuronas, y definimos el concepto de un sistema neuronal plástico (definición 3.1.) Pero antes de que podamos abordar los conceptos de estado y proceso mental, tenemos que hacer la suposición de que los sistemas neuronales plásticos de un animal no están aislados sino organizados en un supersistema. Esto es, asumimos:

POSTULADO 6.1. Los sistemas neuronales plásticos de un animal están acoplados para formar un supersistema, esto es, el *supersistema neuronal plástico (P)* del animal.

La hipótesis de identidad psiconeural afirma que todo hecho experimentado introspectivamente como mental es idéntico a alguna actividad cerebral. Sin embargo, no toda actividad cerebral es mental, y no todos los sistemas neuronales son capaces de llevar a cabo funciones mentales. Hipotetizamos que sólo algunas de las funciones de los sistemas neuronales plásticos pueden ser idénticas a las funciones mentales. Por esto, las funciones en sistemas no plásticos son no mentales. Así, por ejemplo, consideramos que el hambre, la sed y el deseo sexual son funciones no mentales porque se supone que están ubicadas en sistemas neuro-

nales comprometidos (o "preconectados".) Lo que *puede* ser mental es la conciencia de cualquiera de tales procesos.

DEFINICIÓN 6.1. Denote b un animal dotado con un sistema neuronal plástico P. Entonces

(i) b sufre un *proceso mental* (o lleva a cabo una *función mental*) durante el intervalo de tiempo τ si P tiene un subsistema n tal que n está comprometido en un proceso específico durante τ;

(ii) todo estado (o etapa) en un proceso mental de b es un *estado mental* de b.

(Para las nociones de función y función específica, véase definición 4.8.) Algunas de las consecuencias inmediatas de la definición 6.1 son:

COROLARIO 6.1. Todos los animales dotados de sistemas neuronales plásticos, y sólo ellos, son capaces de estar en estados mentales (o sufrir procesos mentales.)

COROLARIO 6.2. Todos los desórdenes (o disfunciones) mentales son desórdenes neurales.

Este corolario contradice la dicotomía convencional entre desórdenes orgánicos y funcionales (o conductuales.) Esta dicotomía y la concomitante división del trabajo -entre la neurología y la psiquiatría por un lado, y la psicología clínica por otro- se inspira en el dualismo psiconeural. De acuerdo con el monismo psiconeural, todos los estados mentales, normales o anormales, son orgánicos: todos son estados del SNC. La diferencia no se presenta entre desórdenes orgánicos y psicológicos, sino entre enfermedades originadas en el nivel celular (por ejemplo, deficiencia de dopamina o exceso de serotonina) y enfermedades a nivel del sistema, o sea, conexiones "erróneas" (o maladaptativas.) Debido a la plasticidad de una gran parte del córtex humano, los desórdenes sistémicos o conductuales a menudo pueden curarse mediante reaprendizaje, es decir, sometiéndose a terapia de la conducta o mediante un mero cambio de ambiente. En contraste, las neuronas enfermas requieren un enfoque bioquímico en vez de logoterapia: las células individuales no escuchan.

COROLARIO 6.3. Las funciones (procesos) mentales cesan con la muerte de los sistemas neuronales correspondientes.

Aunque suficientemente obvia para el biólogo, esta conclusión pocas veces es enunciada explícitamente (p. ej., Maynard Smith 1986:80). Y, por supuesto, es un corolario nada placentero para quienes creen en la vida en el más allá o la reencarnación. Para evitarla, uno debe rechazar el materialismo emergentista, o recurrir a los milagros, por ejemplo afirmando que Dios, al ser omnipotente, puede resucitar el cuerpo y el alma el Día del Juicio Final (Priestley, 1776).

COROLARIO 6.4. Las funciones (procesos) mentales no pueden ser directamente transferidos (es decir, sin canal físico alguno) de un cerebro a otro.

Si se admite que lo mental es una función cerebral, entonces la percepción extrasensorial (PES) está fuera de discusión. En cambio, sólo se interponen dificultades técnicas en el camino hacia la comunicación intercerebral por medios físicos diferentes de los ópticos, acústicos, táctiles y otras señales convencionales. Sin embargo, la telepatía vía ondas electromagnéticas emitidas, recibidas y descodificadas por cerebros resulta imposible, aunque sólo se deba a que la radiación emitida por el cerebro es demasiado débil de lejos para este propósito. No debe sorprendernos que la parapsicología deba respaldarse en modos de comunicación paranormales, razón por la cual nunca se convertirá en una ciencia (Beyerstein, 1987; Bunge, 1987b) .

6.4 MENTE

6.4.1 *Conceptos básicos*

Ahora estamos listos para abordar el concepto de mente. Si la mente no se considera una entidad espiritual, el materialismo emergentista no tiene problemas con el concepto de mente. De hecho, recordando la definición 4.8, la cual elucida la noción de función específica de un órgano, una definición del concepto de mente puede plantearse como sigue:

DEFINICIÓN 6.2. Denote P un supersistema neuronal plástico de un animal b de especie K. Entonces, la *mente* de b durante el período τ es la unión de todos los procesos mentales (funciones específicas π_S) que los componentes de P, esto es, sistemas neuronales plásticos n, experimentan durante τ. Más precisamente,

$$M\,(b,\,\tau) = \bigcup_{x \triangleright n} \pi_S\,(n,\,\tau)$$

Como sucede con el concepto de vida (postulado 4.1, definición 4.1), el concepto de mente se refiere a un conjunto de actividades específicas, no a alguna entidad (material o inmaterial). (Véase también Mayr 1982.) Ahora también debería volverse más claro por qué, dado que los miembros del conjunto llamado 'mente' son procesos cerebrales, no tiene sentido decir que el cerebro es la "base física" de la mente, tal como no tiene sentido decir que el tubo digestivo es la "base física" de la digestión. Más aún, no tiene sentido hablar de la "mente colectiva" de la humanidad como si fuera una entidad o incluso un sistema funcional. Por esto mismo, no hay una memoria colectiva (à la Durkheim) ni un inconsciente colectivo.

Aunque ya hemos tratado con constructos en los capítulos 1 y 3, nos será de ayuda engarzar lo que se ha dado en llamar 'objetos de la mente' en el contexto psicobiológico. Por lo tanto, proponemos:

DEFINICIÓN 6.3. Denote *x* un objeto y *b* un animal dotado de un sistema neuronal plástico. Entonces

(i) *x pertenece a la mente de b* sii *x* es un estado mental o un proceso mental de *b*;

(ii) *x pertenece a la mente* (o *es mental*) si hay al menos un animal *y* tal que *x* pertenece a la mente de *y*.

Esta definición sugiere la siguiente filosofía de las matemáticas. Los objetos matemáticos son objetos que sólo pueden existir en alguna mente. Esto es, los objetos matemáticos son patrones de procesos mentales posibles: no existen en otra parte, o por sí mismos, aparte de los cerebros pensantes. De un modo semejante, los objetos míticos tales como Zeus y el pato Donald, no son más que eso. Más aún, la mente es finita, es decir que sólo podemos pensar objetos matemáticos de manera finita. Sin embargo, nos las arreglamos con esta finitud *pretendiendo* que todas aquellas posibilidades que no son actualizadas existen (formalmente.) Así, nadie puede pensar todos los números, ni siquiera los enteros. De un modo semejante, nunca seremos capaces de derivar todos los infinitos teoremas de una teoría, pero *fingimos* que existen (formal o idealmente): esto solo nos autoriza a hablar de *la* teoría. Podemos llamar a ésta una filosofía ficcionista y materialista de las matemáticas. (Más sobre esto en Bunge, 1985a, 1997. Resulta decepcionante que ni siquiera publicaciones recientes sobre la metafísica de los objetos ideales y la filosofía de las matemáticas, p. ej., Linsky y Zalta, 1995 y Lowe, 1995, mencionen y menos aún consideren un enfoque psicobiológico de los constructos.)

6.4.2 *Interacción entre mente y materia*

El dualismo interaccionista se enfrenta con el problema de cómo la mente inmaterial puede de modo concebible, interactuar con la materia, es decir, el cerebro. No así el materialista emergentista: no puede haber interacción mente-materia porque –a diferencia de los procesos mentales y cerebros individuales– mente y materia son conjuntos, por lo tanto, objetos conceptuales. Sin embargo, sí tiene sentido hablar de 'interacciones mental-corporales' con tal que se considere que esta expresión abrevia "interacciones entre sistemas neuronales plásticos, por un lado, y sistemas neuronales comprometidos o sistemas corporales que no son parte del SNC, por otro". Así, hay interacciones entre las áreas sensoriales y motoras, entre sistemas neuronales ideacionales y receptores externos, entre las regiones corticales y subcorticales del cerebro, entre el cerebro y los sistemas endocrino e inmunitario, etc. Como los eventos mentales son eventos neurales, y como la relación causal se define en pares de eventos en sistemas concretos (recuérdese sección 1.9), tenemos:

COROLARIO 6.5. Los eventos mentales pueden causar eventos no mentales en el mismo cuerpo, y viceversa.

En consecuencia, las perturbaciones de biofunciones no mentales pueden influir en los estados mentales y recíprocamente, los eventos mentales tales como actos pueden influir en los estados corporales no mentales. De esto se tratan la neuroquímica, la neurología, la psiquiatría, la medicina psicosomática, la psiconeurofarmacología, la educación y la propaganda. También, la medicina psicosomática científica y efectiva, a diferencia del psicoanálisis, es la aplicación de la psiconeuroendocrinoinmunofarmacología al tratamiento de los desórdenes mentales. (Nótese la extraordinaria longitud del nombre de esta disciplina, nacida de la fusión de campos de investigación que antes estuvieron desconectados. Éste es un recordatorio más de que el progreso científico no sólo viene de reducciones sino también de fusiones: recuérdese la sección 3.6.3.3.)

6.4.3 *¿Dónde está la mente?*

La sinonimia cartesiana de 'cuerpo' y *res extensa*, por un lado, y 'mente' y *res cogitans*, por otro, son epítome del principio dualista de que mientras que lo físico es extenso, lo mental no lo es. Como en nuestra ontología no hay eventos en sí mismos sino sólo eventos en alguna cosa concreta u otra (véase sección 1.5), la cuestión del espacio "ocupado" por un evento es la de la extensión de la cosa cambiante. Así, lo que está espacialmente extendido no es el *disparo* de una neurona sino la *neurona que se dispara*. En otras palabras, los eventos ocurren allí donde estén las cosas "eventuantes". En particular, los eventos mentales ocurren en algún sistema neuronal plástico u otro. Así, en principio, y a menudo también en la práctica, el neurofisiólogo puede determinar la localización de un proceso de pensamiento. Varias técnicas de diagnóstico por imágenes, desde la casi clásica estimulación eléctrica de sitios precisos en la corteza hasta la tomografía por emisión de positrones y la generación de imágenes por resonancia magnética, se encuentran ahora disponibles, produciendo interesantes hallazgos en rápida sucesión.

Sin embargo, del postulado de que los eventos mentales sólo ocurren en los cerebros no se sigue que la mente, como conjunto de todos los eventos mentales, esté en la cabeza. Como es un conjunto, por lo tanto un objeto conceptual, la mente no está en ninguna parte: sólo los cerebros, mentalicen o no, están en algún lugar. Una cuestión relacionada es la "ubicación" de las ideas en general. La respuesta a esta pregunta depende de cómo se conciba 'idea'. Si se toman como procesos de ideación, las ideas están en los cerebros que resultan estar pensándolas, pero sólo allí, y sólo en el momento en que son pensadas. En cambio, el llamado *producto* de cualquier proceso tal, es decir, la "idea en sí misma" no está en ninguna parte del espaciotiempo porque no existe por sí misma: sólo fingimos que lo está para propósitos del análisis. Por ejemplo, aunque pensar en el número 3 es un proceso cerebral, el número 3 no está en ninguna parte porque es una ficción que existe por convención o por mandato, y esta pretensión no incluye la propiedad de espaciotemporalidad. Lo que vale para el número 3 vale para todo

otro objeto conceptual. En todo caso, abstraemos de las propiedades neuropsicológicas del sistema neural concreto que hace la ideación y producimos un constructo que, por definición, sólo tiene propiedades conceptuales o ideales. En otras palabras, un *constructo* no *es* un proceso cerebral individual sino una *clase de equivalencia de procesos cerebrales* que ocurren en diferentes cerebros o en el mismo cerebro en tiempos diferentes (más sobre esto en Bunge, 1983b).

Aunque lo anterior es sólo una hipótesis programática, creemos que es básicamente verdadera y, más aún, heurísticamente poderosa. Por supuesto, se espera que las peculiaridades de los procesos cerebrales idénticos a pensar un concepto dado, varíen de un individuo a otro, de una circunstancia a otra e incluso de un momento a otro en un mismo individuo. Así, bien puede ser que nadie experimente exactamente los mismos procesos cerebrales al pensar el número 3 en diferentes tiempos. Sin embargo, cualesquiera pensamientos del mismo constructo deben tener el mismo patrón general; de otro modo, no consistirían en pensar el número 3.

6.5 CONCIENCIA

Abordemos ahora la más elevada de todas las funciones cerebrales: la conciencia o autoconocimiento. Sin embargo, antes de que podamos hacerlo debemos distinguir dos conceptos diferentes pero relacionados que a menudo se mezclan: reactividad y conocimiento.

Todas las cosas, vivas o no, son sensibles a algunos agentes físicos o químicos, aunque ninguna responde a todos: piénsese en la fotosensibilidad o la sensibilidad química. Así, la sensibilidad a estímulos externos físicos o químicos no requiere la presencia de un sistema nervioso. En consecuencia, si fuésemos a identificar la conciencia con la mera reactividad (o sensibilidad) a estímulos externos, como lo hace alguna gente, deberíamos adoptar el animismo o el panpsiquismo, abandonando así la ontología naturalista de la ciencia moderna. Hagamos una primera distinción:

DEFINICIÓN 6.7. Denote b una cosa (viviente o no viviente) y x una acción sobre b o sobre una parte de b originada fuera de b o en una parte de b. Entonces b es *x-reactiva* si y sólo si, b reacciona a x (es decir, si x causa o desencadena un cambio del estado de b), ya sea siempre o con una cierta probabilidad.

El concepto de apercepción, en cambio, se aplica sólo a cosas vivientes de ciertas especies, aquellas que poseen un SNC de cierta complejidad. El conocimiento es, entonces, una de las funciones específicas de un SNC suficientemente complejo:

DEFINICIÓN 6.8. Si b denota a un animal, *b se apercibe* del cambio x (interno o externo a b) si b siente o percibe x; si no, b no se apercibe de x.

Por ejemplo, en el caso de la llamada "visión a ciegas", la persona es capaz de detectar y reaccionar a objetos externos a pesar de no apercibirse de ellos. Así, la apercepción no sólo requiere órganos sensoriales (en el caso de estímulos externos) sino también sistemas neuronales perceptuales. (En principio, éstos son suficientes para la apercepción, como es el caso de las alucinaciones.) Así, ni las plantas ni los animales carentes de dichos órganos pueden apercibirse de cosa alguna. *A fortiori*, las máquinas no pueden alcanzar la apercepción, aunque si se las equipa con "sensores" adecuados, tales como fotoceldas, pueden reaccionar a ciertos estímulos.

Nótese que un animal puede apercibirse de lo que lo rodea pero no de lo que él mismo está sintiendo o haciendo. Para cubrir esta última posibilidad, necesitamos también:

DEFINICIÓN 6.9. Si b denota a un animal, b se *autoapercibe* (o tiene autoapercepción) si b se apercibe de alguno de sus cambios o acciones internos.

Autoapercibirse es apercibirse de sí mismo como algo diferente de todo lo demás. Un animal autoapercipiente advierte, no importa cuán tenuemente, ser el sujeto de sus propios sentimientos y actos. Sin embargo, la autoapercepción no requiere *pensar* en las propias percepciones y concepciones. La satisfacción de esta condición adicional merece denominarse conciencia:

DEFINICIÓN 6.10. Si b es un animal, b está *consciente* del proceso cerebral x (p. ej., la percepción o el pensamiento x) en b mismo si b piensa en x; de otro modo, b no está consciente de x.

De acuerdo con esta convención, un animal sólo puede estar consciente de algunos de sus propios procesos mentales superiores: no sólo sentir, sensar y hacer, sino también pensar en lo que percibe o piensa. Un animal consciente del proceso mental x (en sí mismo) posiblemente experimenta (ya sea en paralelo o en rápida sucesión) *dos* procesos mentales diferentes: x, el proceso mental objeto o contenido de su conciencia, y el pensar en x, es decir, estar consciente de x. Así, postulamos que un evento consciente es una actividad cerebral consistente en monitorear (registrar, analizar, controlar o seguir la pista de) alguna otra actividad en el mismo cerebro. Aunque los científicos aún no saben con certeza en qué sistemas tienen lugar estas actividades, formulamos:

POSTULADO 6.3. Denote P un subsistema del SNC de un animal b que ejerce un proceso mental p. Entonces el SNC de b contiene un sistema neuronal Q distinto de P pero conectado con P, cuya actividad q equivale a que b esté consciente de p.

Puede resultar apropiada una observación acerca de la diferencia entre apercepción y conciencia. Los animales de algunas especies pueden llegar a apercibirse de ciertos estímulos y algunos son capaces de atención, pero no pueden ser

conscientes de algo a menos que puedan pensar, o sea, formar conceptos y proposiciones. Recíprocamente, una persona que se encuentra perdida "soñando despierta" o inmersa en un pensamiento profundo y productivo puede no apercibirse de lo que la rodea. En consecuencia, ambos conceptos son mutuamente independientes y por lo tanto no deberían confundirse. Es más, los procesos neurofisiológicos involucrados en la apercepción bien podrían ser diferentes de los de la conciencia: la apercepción podría consistir en la sincronicidad oscilatoria de las neuronas de un sistema neuronal dado en vez del monitoreo de un sistema neuronal por otro (véase, p. ej., Zeki 1993).

Toda conciencia es conciencia de algo. Esto se denomina a veces *contenido* u *objeto* de la conciencia. La conciencia sin contenido, como ciertas formas de meditación que lo intentan alcanzar, no es conciencia en absoluto, sino un cierto estado de mente en blanco, similar al sueño profundo.

Estar consciente de un proceso mental en uno mismo es estar en cierto estado mental –que equivale a que el cerebro esté en cierto estado. Por esta razón adoptamos:

DEFINICIÓN 6.11. La *conciencia* de un animal *b* es el conjunto de todos los estados (o mejor dicho, procesos) del cerebro de *b* en los que *b* está consciente de alguna percepción o pensamiento en *b* mismo.

Como la conciencia no es una entidad, es incorrecto hablar *del Inconsciente* como si fuera una entidad. En lugar de eso, simplemente hay algunos procesos que permanecen no conscientes o preconscientes aun cuando en ocasiones puedan ser manifestados en forma conductual. Incluso, como estar consciente de algo es un *estado* del cerebro (o mejor dicho una secuencia de estados, es decir, un proceso) no pueden existir "estados de conciencia" ni, *a fortiori*, "estados alterados de conciencia". Éstos son ejemplos de reificación. (Pero, por supuesto, puede haber estados cerebrales alterados, p. ej., debido a drogas o daños.) Tampoco puede haber una "conciencia colectiva" porque no hay cerebros colectivos. Sin embargo, puede haber grados del estar consciente porque tales grados no son sino las intensidades de las actividades (funciones) de los sistemas neuronales correspondientes.

Tal como la autoapercepción se halla un grado más alto que la apercepción, la autoconciencia se halla un paso más arriba que la conciencia. Un sujeto es autoconsciente sólo si es consciente de sus propias percepciones y pensamientos como ocurren en sí mismo. A primera vista, el término 'autoconciencia' es un pleonasmo. Sin embargo, hay evidencia clínica sólida de que los sujetos en ciertas condiciones patológicas están confundidos acerca de la fuente de sus propias experiencias e incluso acciones mentales. Por lo tanto, necesitamos:

DEFINICIÓN 6.12. Un animal está *autoconsciente*, o tiene un yo en un momento dado si y sólo si sabe quién y qué es.

Nuevamente, el yo no es una entidad sino un estado de una entidad: un cerebro suficientemente complejo. Por lo tanto, decir que "el yo tiene un cerebro" (Popper y Eccles, 1977) a nuestro entender equivale a decir que ciertos estados cerebrales tienen un cerebro, que los estornudos tienen narices o que las rotaciones tienen ruedas.

Ahora bien, para saber quién y qué se es, se debe tener recuerdos del propio pasado. En cambio, el animal no necesariamente ha de ser capaz de extrapolar su propia vida en el futuro, es decir que puede no ser capaz de imaginar o planear su siguiente movimiento (ej., porque carece de lóbulos frontales suficientemente desarrollados.)

De acuerdo con esto, establecemos:

DEFINICIÓN 6.13. Un individuo autoconsciente es
(i) *antero-autoconsciente* si recuerda correctamente algo de su pasado;
(ii) *pro-autoconsciente* si puede imaginar (incluso erróneamente) algo de su propio futuro;
(iii) *totalmente autoconsciente* si es tanto antero- como pro-autoconsciente.

Todas estas capacidades vienen en grados. Así, un individuo con mal de Alzheimer puede sólo recordar algunos episodios en el pasado distante, y un individuo lobotomizado es incapaz de imaginar más que el futuro inmediato.

6.6 INTENCIÓN

Nuestras definiciones de "apercepción" y "conciencia" no involucran el concepto de intención. De hecho, sólo algunas de las conductas conscientes son intencionales. Por ejemplo, lo que empezó como un acto voluntario puede, de aprenderse, volverse automático, o sea, todavía tender a metas pero no ser ya intencional. Y la conducta consciente puede carecer de objetivos, como cuando se "sueña despierto". Los actos de albedrío, sin embargo, son conscientes e intencionales. Así, proponemos:

DEFINICIÓN 6.14. Un acto animal es *voluntario* (o *intencional*) si y sólo si es un acto consciente con propósitos. Si no, es *involuntario*.

No hace falta decir que el albedrío no es una entidad sino una actividad neural: x ejerce el albedrío de y si x forma conscientemente el propósito de hacer y. Tampoco es una facultad misteriosa de una mente inmaterial, sino una capacidad de un SNC altamente evolucionado. Más precisamente, parece ser una función específica de los lóbulos frontales.

Los actos voluntarios pueden ser libres u obligados. El general que decide lanzar un ataque puede actuar libremente, pero aquellos de sus soldados que vayan a regañadientes a la batalla actuarán voluntariamente, aunque por obligación.

Así, el libre albedrío es volición con libre elección de meta, con o sin previsión del posible resultado. Hacemos entonces:

DEFINICIÓN 6.15. Un animal actúa por su propio *libre albedrío* si y sólo si,

(i) su acción es voluntaria; y

(ii) tiene libre elección de metas, es decir, no está bajo obligación externa o programada para alcanzar la meta elegida.

Los materialistas vulgares, así como los positivistas y conductistas, consideran ilusorio el libre albedrío, y a la noción como no científica. Los primeros niegan que pueda ser ejercida por un sistema fisicoquímico, y los segundos la rechazan como inobservable. La mayoría de los idealistas (o espiritualistas) acepta al libre albedrío pero le niegan estatus científico porque consideran al acto voluntario libre ilegal y espontáneo, por lo tanto impredecible. Ninguna de estas características está implicada en nuestra definición.

La literatura filosófica se encuentra plagada de confusiones sobre el libre albedrío. Dos de ellas son las presuntas identidades "determinismo = predecibilidad" y "libre albedrío = indeterminación". Sin embargo, el concepto de determinación es una categoría ontológica mientras que la predecibilidad es una epistemológica. De esta manera, en principio, podemos tener una sin la otra. Por ejemplo, aun cuando un proceso pueda ser perfectamente determinado (es decir, legal y sujeto a restricciones y a condiciones antecedentes), podemos conocerlo sólo imperfectamente , y por lo tanto no estar en posición de predecirlo. La mayoría de los procesos físicos es de este tipo. De modo similar, el concepto de libre albedrío es una categoría ontológica, de manera que la predecibilidad no cuenta contra ella, y la impredecibilidad no puede tomarse como test o criterio de libre albedrío. Como se asume que la volición libre es un proceso mental, debe ser legal. Sin embargo no es causal, porque ningún proyecto espontáneo lo es. Pero la causalidad es sólo un modo de legalidad (véase Bunge, 1959a.) Al ser legal, la libre volición debe ser capaz de repetición (*ceteris paribus*) y predecible. Por ejemplo, si conocemos a una persona razonablemente bien, podemos estar en condiciones de predecir que por su propio libre albedrío elegirá llevar a cabo una acción de tipo *A*, siempre que se enfrente a un problema de tipo *B*.

Definir la noción de libre albedrío es bonito pero no nos dice si realmente hay algo llamado libre albedrío. Afortunadamente, no necesitamos postular que el libre albedrío existe de hecho pero podemos derivar la hipótesis de su existencia del postulado 6.3 y la definición 6.15.

TEOREMA 6.1. Todos los animales capaces de estar en estados conscientes son capaces de ejecutar actos voluntarios libres.

Los conceptos de autoapercepción, autoconciencia, yo e intención son relevantes para la elucidación de los conceptos de persona y agente moral que

desempeñan roles centrales en la bioética. Sin embargo, no podemos desarrollar este tema aquí.

Para concluir, sensar y sentir, pensar y evaluar, planear y decidir son procesos biológicos. Así, deberían ser enfocados biológicamente antes que como entidades o procesos inmateriales. Sin embargo, como los humanos son animales sociales, su vida mental (o subjetiva) es fuertemente influida por su entorno social, el cual a su vez contribuyen a modificar. Así, una comprensión adecuada de lo mental exige el esfuerzo combinado de psicólogos, neurocientíficos y sociólogos.

7 SISTEMÁTICA

> Las cosas son semejantes: esto es lo que hace posible a la ciencia. Las cosas son diferentes: esto es lo que hace necesaria a la ciencia.
>
> LEVINS y LEWONTIN, 1985, p. 141

Ahora que tenemos un conocimiento esquemático de qué es un organismo (sección 4.3), podemos proceder a explorar cómo se clasifican los organismos. Sin dicho conocimiento no sería posible ninguna clasificación *biológica*, porque para clasificar los sistemas vivientes en vez de los no vivientes debemos ser capaces de diferenciar entre unos y otros. Establecer diferencia entre dos objetos o clases de objetos es en sí mismo un acto de clasificación. Por lo tanto, primero examinaremos los principios generales de la clasificación antes de abocarnos a las peculiaridades de la clasificación biológica.

Resulta interesante que, pese a ser una de las más antiguas prácticas biológicas, la sistemática aún se encuentre entre los temas principales en la filosofía de la biología contemporánea porque continúa siendo asediada por encendidas controversias. Una muestra de los problemas más importantes es la siguiente: ¿Cuál es la manera apropiada de hacer sistemática?, es decir: ¿qué principios metodológicos y qué métodos deberían obedecer los sistemáticos? ¿Cuál es el estatus de los taxones, especialmente del taxón especie? ¿Son conjuntos, clases o tipos –por lo tanto, objetos conceptuales–, o sistemas reales? Las clasificaciones, ¿son convenciones o teorías? ¿Cuál es la relación, si es que hay alguna, entre la sistemática y la teoría de la evolución? ¿Deberían fusionarse o mantenerse separadas? ¿Cuál es la diferencia, si la hay, entre clasificación, sistemática y taxonomía?

7.1 FILOSOFÍAS DE LA TAXONOMÍA

Sostenemos que las principales filosofías que subyacen a las taxonomías biológicas son: idealismo, nominalismo y conceptualismo. Cada una de estas escuelas ostenta un rancio abolengo: el idealismo se remonta a Platón, el nominalismo a Ockham y el conceptualismo a Aristóteles. Y todas excepto el idealismo, estancado desde los tiempos de la *Naturphilosophie* romántica, se han ramificado en escuelas rivales.

El *idealismo* o *tipologismo* sostiene que (a) todos los miembros de un taxón dado comparten ciertas propiedades esenciales que sirven para definir al taxón, de ahí que a menudo recibe el nombre de *esencialismo*; y (b) las especies son ideas y,

es más, arquetipos o formas ideales que los organismos individuales representan sólo imperfectamente. Como el esencialismo idealista ha sido criticado extensamente en otras partes (sobre todo por Mayr, 1982) y ya no tiene una función significativa en taxonomía, en adelante haremos caso omiso de él, principalmente por ser incompatible con la ontología materialista de la ciencia moderna.

El *nominalismo* es, por supuesto, una reacción contra el idealismo. Hay dos variantes: tradicional y contemporáneo. El nominalismo tradicional, hallado en Buffon, Lamarck y Darwin, sostenía que sólo hay individuos (organismos) y que las especies sólo son nombres convencionales adoptados por razones puramente prácticas. (Véase Mayr, 1982. De acuerdo con Gayon, 1996, hay pasajes de la obra de Buffon que sugieren que llegó a considerar las especies como individuos.) El nominalismo contemporáneo o *neonominalismo* aparece en dos versiones: débil y fuerte. El neonominalismo débil afirma que las *especies* no son nombres ni conceptos sino individuos concretos, es decir, entidades materiales compuestas de organismos (p. ej., Mayr, 1963, 1982, 1988; Ghiselin, 1966, 1974, 1981; Löther, 1972; Hull, 1976; Sober, 1980, 1993; Reig, 1982; Ax ,1984; Rosenberg, 1985; M.B. Williams, 1985; Willmann, 1985.) El neonominalismo fuerte no sólo considera individuos concretos a las especies, sino que también sostiene que todos los taxones se denominan "entidades históricas", siempre que no sean totalidades compuestas concretas (p. ej., Bock, 1974; Ghiselin, 1974, 1981; Griffiths, 1974; Hull, 1976, 1978, 1980, 1988, 1989; Wiley, 1978, 1980, 1981, 1989; de Queiroz, 1988, 1994; de Queiroz y Donoghue, 1988; Mayr y Ashlock, 1991).

El neonominalismo parece restringirse a la biología, por lo que resulta más adecuado denominarlo *bionominalismo*. Los bionominalistas usualmente no dudan de que haya clases o, más precisamente, tipos naturales de cosas no vivientes, tales como los elementos químicos (p. ej., Sober, 1980; Hull, 1989). Sin embargo, creen que la evolución impide concebir los taxones como clases o tipos. Puesto que el bionominalismo ha ganado amplia aceptación entre taxónomos y filósofos (parece más bien la posición predominante en la actualidad), lo examinaremos en detalle en la sección 7.3.

El *conceptualismo* es una especie de compromiso entre idealismo y nominalismo. Sostiene que en la jerarquía sistemática (a) sólo los organismos individuales son reales, es decir, que son individuos concretos y existen independientemente del sujeto cognoscente (otros sistemas materiales compuestos de organismos, tales como biopoblaciones, comunidades y sistemas sociales también son reales pero se pasan por alto aquí por no ser relevantes para la sistemática); (b) la especie y los demás taxones son conceptos, aunque no arbitrarios e inútiles ya que representan comunalidades objetivas entre organismos: son clases naturales o, idealmente, tipos naturales. Parafraseando a Christian Wolff: *taxa non existunt, nisi in individuis* (1740, §56.) Sin embargo, a continuación veremos que, a fin de tomar en cuenta la evolución, la noción convencional de tipo natural necesita modificarse para constituir la noción, más débil, de tipo biológico (véase también Ruse 1987).

7.2 CONCEPTUALISMO

Como se indicó en la parte I, así como en la sección 4.5, entendemos que el conceptualismo es la única metodología y filosofía de la taxonomía viable. Procedemos a delinear nuestra taxonomía y filosofía de la taxonomía conceptualistas, antes de finalizar examinando la opinión actualmente dominante en filosofía de la taxonomía: el bionominalismo.

7.2.1 *Formación de conceptos*

7.2.1.1 Discriminación

La relación más básica entre dos ítems cualesquiera, ya sean fácticos o conceptuales, es la de igualdad –o su contrapartida, la de diferencia. Comencemos con esta última. La percepción o concepción de la diferencia se denomina *discriminación* (o *análisis*.) Aunque nuestro aparato perceptual tiene un poder discriminatorio restringido, podemos intensificarlo con ayuda de instrumentos de observación (por ejemplo microscopios.) De modo semejante, podemos aguzar la discriminación conceptual con ayuda de la lógica y la matemática.

Nótese que estamos hablando de operaciones *perceptuales* y *conceptuales*. Esto es, distinguir, discriminar y analizar no son lo mismo que separar o desmantelar, que son acciones (concretas.) Por ejemplo, los componentes de un sistema, pese a ser distintos y por lo tanto distinguibles (al menos en principio), no son separables: si se los separa materialmente el sistema se colapsa. Hacemos énfasis en esto porque los holistas usualmente rechazan el análisis, confundiéndolo con desmantelamiento.

El paso importante en la discriminación es descubrir en qué difieren los objetos distintos; y esto implica considerar debidamente algunas de sus propiedades. Tal operación cognitiva no es sólo percepción: se trata de una operación conceptual, ya que consiste en atribuir propiedades. De hecho, a fin de ser capaces de atribuir una propiedad a un objeto, debemos elaborar algún concepto de tal propiedad, es decir, un atributo o predicado (recuérdese la sección 1.3.2).

7.2.1.2 Comunalidades: equivalencia y similitud

Percibir o concebir comunalidades es la contraparte de advertir diferencias. Si los individuos *a* y *b* comparten cierta propiedad (o grupo de propiedades) *P*, decimos que son *equivalentes* (o *iguales*) respecto de *P*. También podemos decir que *a* y *b* son *P*-equivalentes, y escribir: $a \sim_P b$; y además podemos decir que todos estos individuos constituyen una *clase de equivalencia* bajo *P*. (La clase *P*-equivalencia de *a*, que es idéntica a la de *b*, es designada '$[a]_P$'.) Esta definición tiene como consecuencia que hay tantas relaciones de equivalencia como propiedades. También implica que toda relación de equivalencia $\sim$ es reflexiva, simétrica y transitiva. Es

decir, para cualesquiera objetos *a*, *b* y *c* en un conjunto dado: $a \sim a$ (reflexividad); si $a \sim b$, entonces $b \sim a$ (simetría); y si $a \sim b$ y $b \sim c$, entonces $a \sim c$ (transitividad.)

Si se modera la condición de transitividad, obtenemos la relación, más débil, de *similitud* o *semejanza*: si *a* es similar a *b*, y *b* similar a *c*, *a* puede o no parecerse a *c*. Esto es, *a* y *b* pueden compartir algunas propiedades que no son las que comparten *b* y *c*: véase fig. 7.1. Una medida cualitativa de similitud es la intersección de los conjuntos de propiedades de los objetos similares. Esto es, denominando $P(a)$ y $P(b)$ a los conjuntos de propiedades de las cosas *a* y *b* respectivamente, estipulamos que la similitud *s* entre *a* y *b*, es decir $s(a, b)$, es igual a $P(a) \cap P(b)$. Contando el número de propiedades compartidas y asignándoles la misma ponderación, obtenemos una medida cuantitativa de similitud. Así, *pace* Ghiselin (1966), tiene sentido perfectamente cuantificar la similitud. (Para tales medidas cuantitativas de similitud, véanse Sokal y Sneath, 1963; Sneath y Sokal, 1973; Bunge, 1977a, 1983a.)

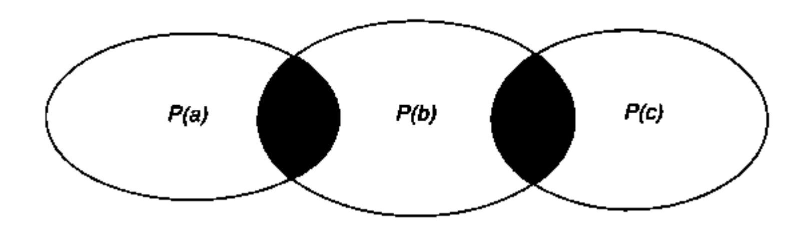


Fig 7.1. Los conjuntos de propiedades de tres cosas *a*, *b* y *c*: $P(a)$, $P(b)$ y $P(c)$. Como *a* comparte propiedades con *b*, *a* es similar a *b*; de un modo semejante, para *b* y *c*. Sin embargo, aunque *a* es similar a *b* y *b* similar a *c*, *a* no se parece a *c*, porque *a* y *c* no comparten ninguna propiedad, es decir que $P(a) \cap P(c) = \varnothing$.

7.2.1.3 Agrupamiento

Las operaciones de agrupar y reunir y su contrapartes, las de distinguir y separar, parecen ser conductas animales básicas. En realidad, muchos animales juntan cosas de algún tipo u otro, y algunos vertebrados superiores también son capaces de reunir ideas, esto es, agrupar imágenes, conceptos, proposiciones, etc. Las cosas materiales pueden juntarse espaciotemporalmente, y todos los objetos –más allá de su naturaleza– pueden juntarse en el pensamiento. En el primer caso el resultado es una cosa material: un conglomerado (agregado) o un sistema; y en el segundo es un concepto: un conjunto o una colección. Como en sistemática no nos interesa formar agregados materiales, sólo consideraremos el hecho de reunir ítems de cualquier naturaleza (es decir, ya sean fácticos o conceptuales) para formar colecciones conceptuales, o sea, clases.

Si dos ítems son distintos, aunque equivalentes en algún aspecto, pueden ponerse entonces en una sola clase. (No si sólo son semejantes.) Nótese la expresión

'pueden ponerse' en vez de 'existen'. Puesto que las diferencias entre ítems fácticos son objetivas, existen ya sea que un sujeto dado lo sepa o no. En cambio, agrupar ítems en una clase es una operación conceptual: las clases son conceptos, no entidades reales (concretas, materiales.) Pero, por supuesto, mientras que algunos agrupamientos son arbitrarios o artificiales, otros son naturales u objetivos. Así, juntando todas las personas llamadas 'Mike' obtenemos una clase artificial, mientras que agrupando todas las personas que comparten un ancestro en común obtenemos una clase natural, esto es, una colección cuyos miembros estén objetivamente relacionados. En consecuencia, mientras algunas clases son realistas (no arbitrarias), ninguna clase es real.

Al reunir cosas materiales en el pensamiento, o sea, conceptualmente, debemos recordar que todas ellas son mutables, al punto que mientras que algunas pueden haber desaparecido otras pueden no existir todavía. Por lo tanto debemos distinguir entre una colección cuya membrecía varía con el tiempo y un conjunto propiamente dicho (o colección considerada *sub specie aeternitatis*) cuya membrecía es constante, es decir, que sus elementos se tratan como si fueran entidades atemporales.

La diferencia entre ambas operaciones de colección puede elucidarse con ayuda de la noción de tiempo, que por supuesto es un concepto tanto científico como ontológico, no sólo de la matemática pura. Denomínese F al atributo de interés y escríbase 'Fxt' para indicar que el individuo x tiene cierta propiedad (representada por el predicado) F en el tiempo t. Entonces la colección S de todos los F en el tiempo t será $S_t = \{x \mid Fxt\}$. Tomando la unión de todas las colecciones variables de *las* F para todos los tiempos, es decir, $\cup_{t \in \mathbb{R}} S_t$, obtenemos el conjunto (atemporal) S de todos los F, denominado *extensión* del predicado F (recuérdese sección 2.2.) Así, por ejemplo, decir que Charles Darwin *es* un humano, o que pertenece a la especie humana S (con membrecía invariable), equivale a decir que Darwin pertenec*ía* a la colección de los seres humanos que *estaban* vivos, digamos en 1859.

La noción de colección variable debería disipar los temores de aquellos taxónomos que han argumentado que los taxones, en particular las especies, no podrían concebirse como conjuntos porque éstos tienen una membrecía fija. (Nótese que la expresión 'colección variable' no debe entenderse como una implicación de que las colecciones son objetos mutables, y por lo tanto reales. Todo lo que significa es que, en diferentes tiempos, las colecciones *formadas por nosotros* difieren en el número de sus miembros.)

7.2.1.4 Conjunto

Hasta ahora, hemos usado los términos 'conjunto' y 'clase' sin explicarlos, porque bastaba con entender que son colecciones conceptuales de objetos de cualquier naturaleza. Resulta apropiado ahora elucidar estos conceptos, así como los de tipo y tipo natural, aunque sólo sea porque muchos estudiosos de la sistemática han resultado confundidos por estas nociones diferentes (p. ej., Mayr 1988, 1989.)

Un conjunto es cualquier colección de ítems que no necesariamente comparten alguna propiedad en común, salvo la membrecía del conjunto al que pertenece. Por ejemplo, el conjunto

A = {Charles Darwin, Tokyo, Mickey Mouse, 10555}

es una colección de objetos que no comparten ninguna propiedad obvia en común. Su única comunalidad consiste en ser miembros del conjunto A. Así el conjunto A sólo puede ser definido ***por extensión***, esto es, haciendo una lista de sus miembros.

7.2.1.5 Clase

Si los objetos de interés sí comparten otra propiedad en común aparte de la membrecía en el conjunto dado, este conjunto es de un tipo especial: una clase. Por ejemplo, en la clase

B = {Mozart, Beethoven, Bruckner}

los tres miembros de B comparten la propiedad de ser compositores. Como algunos autores creen que las clases sólo son colecciones arbitrarias, debería notarse que los tres miembros de B se agrupan por una propiedad objetiva. Lo que sigue siendo arbitrario, sin embargo, es nuestra clasificación de sólo estos tres compositores. Claramente, podemos construir un conjunto más significativo formando la clase de *todos* los compositores. Esta clase sería idéntica al alcance de la propiedad de ser compositor, y sería idéntica a la extensión del predicado "es un compositor". Así, a diferencia del conjunto anterior A, la clase B también puede definirse ***intensionalmente***, es decir, como el conjunto de todos los individuos x que poseen la propiedad de ser compositores; en símbolos obvios, $B = \{x \mid Cx\}$. Sostenemos que todas las clases biológicas se definen intensionalmente (véase sección 7.2.2.2).

Sin embargo, podemos llegar a algo más fuerte que una clase, que requiere la posesión de sólo una propiedad en común. Se trata de la noción de tipo.

7.2.1.6 Tipo

Un tipo puede concebirse como una clase cuyos miembros comparten más de una simple propiedad en común. Más precisamente, puede formarse como la intersección de los alcances de varias propiedades. Si comenzamos con el alcance de n propiedades obtenemos n clases. La intersección de estas clases, de no ser vacía, da un tipo: véase fig. 7.2. Por ejemplo, considérense tres propiedades P, Q y R. El alcance S de P, o sea, el conjunto de todos los objetos p_i que poseen P, es la clase finita $S(P) = \{p_1, p_2, ..., p_i\}$; el alcance de Q es $S(Q) = \{q_1, q_2, ..., q_j\}$; el alcance de R es $S(R) = \{r_1, r_2, ..., r_k\}$. Entonces el *tipo* definido por las tres propiedades P, Q y R es el conjunto $K = S(P) \cap S(Q) \cap S(R)$.

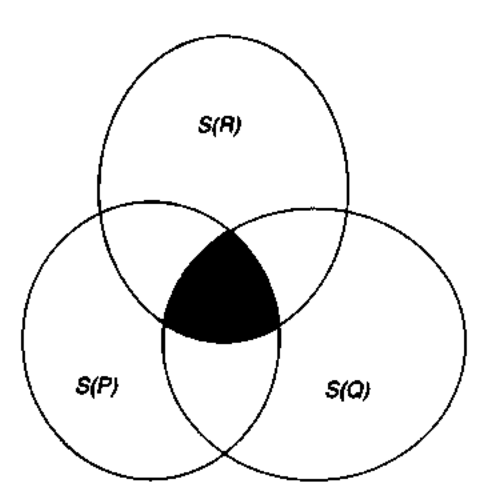


Fig 7.2. Los alcances *S* de tres propiedades *P*, *Q* y *R*. La intersección de las tres clases arroja el *tipo K*.

Sin embargo, las propiedades que delimitan un tipo no necesariamente tienen una relación legal: aunque objetivas, todavía pueden ser escogidas arbitrariamente. Si queremos clasificar cosas de acuerdo con propiedades legalmente relacionadas, tenemos que particularizar la noción de tipo en la de tipo *natural*.

7.2.1.7 Tipo natural *sensu lato*

El concepto de tipo natural ha sido ampliamente discutido en la literatura filosófica y biofilosófica. (Véase, p. ej., Mill, 1975; Putnam, 1975; Bunge, 1977a; Kitts y Kitts, 1979; Dupré, 1981; Ruse, 1987; Splitter, 1988; Suppe, 1989; Wiley, 1989; Leroux, 1993; Wilkerson, 1993. Para una revisión véase van Brakel, 1992, y para una breve historia de los conceptos de tipo natural véase Hacking, 1991.) Pese al permanente interés en la materia, el concepto se ha entendido bastante mal. Por ejemplo, Ghiselin (1981) piensa que los tipos naturales se referirían a esencias platónicas y por lo tanto resultarían inadecuados para la biología moderna. Otros tratan de aclarar la noción de tipo natural con ayuda de la metafísica de los mundos posibles. Y algunos autores incluyen propiedades, procesos y funciones, tales como enfermedades y patrones de conducta, entre los tipos naturales. Por el contrario, afirmamos que ambos enfoques son insatisfactorios o incluso erróneos. Por supuesto, en nuestra ontología materialista emergentista no tenemos uso para las esencias platónicas. Lo mismo vale para los mundos posibles que, a nuestro entender, son puras ficciones incapaces de revelarnos nada sobre el mundo real. Finalmente, ni las enfermedades ni los patrones de comportamiento pueden formar tipos naturales, porque no existen por sí mismos. Como Aristóteles sabía, sólo los organismos enfermos o los animales que se comportan tienen existencia real. (Véase también Woodger, 1952:325.) Por supuesto, al clasificar enferme-

des podemos *hacer abstracción* de los organismos que están enfermos; podemos *fingir* que estados de cosas o procesos en cosas existen por sí mismos, pero éste es un ejemplo de abstracción metodológica. En consecuencia, debemos apoyarnos en una explicación diferente de los tipos naturales. Al hacerlo, será necesario distinguir dos tipos de tipo natural: tipos naturales *en sentido amplio* y tipos naturales *en sentido estricto*.

Para elucidar el concepto de tipo natural nuevamente empleamos la noción de alcance de una propiedad. Como queremos llegar a los tipos *naturales*, esto es, tipos de objetos reales que encontramos en la naturaleza, recordamos que la noción de alcance de una propiedad se restringe a las propiedades sustanciales, es decir, las propiedades de las cosas materiales (véase definición 1.2.) Al comparar los alcances de dos propiedades sustanciales cualesquiera P y Q, podemos enfrentar cuatro resultados posibles. Primer caso: los alcances de P y Q son disyuntos, o sea, $S(P) \cap S(Q) = \emptyset$. Segundo caso: los alcances de P y Q se solapan parcialmente. Así, podemos obtener un tipo (simple), tal como se explicó en la sección precedente. Tercer caso: los alcances de P y Q se encuentran en una relación de inclusión, es decir: $S(Q) \subset S(P)$ o $S(P) \subset S(Q)$. Cuarto caso: los alcances de P y Q son coextensivos, o sea, $S(P) = S(Q)$. Como necesitamos las dos últimas nociones para elucidar el concepto de tipo natural, merecen ser definidas. Así establecemos:

DEFINICIÓN 7.1. Si P y Q son dos propiedades (sustanciales) cualesquiera, entonces
(i) P y Q son *concomitantes* si y sólo si tienen el mismo alcance, es decir, si $S(P) = S(Q)$;
(ii) P *precede a* Q si y sólo si, P es más común que Q, es decir, si $S(Q) \subset S(P)$.

La concomitancia de propiedades es lo que Hume (1739/40) llamó 'conjunción constante de propiedades'. En nuestra ontología, sin embargo, la concomitancia de propiedades no es fortuita, sino legal. Lo mismo vale para la precedencia de propiedades. Así, establecemos que dos propiedades P y Q se encuentran *legalmente relacionadas* si y sólo si los alcances de las propiedades son concomitantes o una propiedad precede a la otra, es decir, si $S(Q) \subseteq S(P)$, o $S(P) \subseteq S(Q)$. (Recuérdense la definición 1.3 y el postulado 1.2.)

Un tipo natural *sensu lato* se obtiene entonces al agrupar objetos materiales (es decir, cosas o sistemas concretos, no objetos conceptuales, ni propiedades, eventos, procesos, funciones u otras no cosas) sobre la base de un haz de propiedades relacionadas legalmente. En otras palabras, todos los objetos en un tipo natural son nomológicamente equivalentes respecto de ciertas propiedades, es decir, comparten el espacio nomológico de los estados con respecto a *algunas* propiedades legalmente relacionadas. Debería señalarse nuevamente que se supone que las propiedades en cuestión son propiedades sustanciales, reales u objetivas de las cosas agrupadas. Así, ni los predicados negativos ni los disyuntivos sirven para generar tipos naturales. (Recuérdese sección 1.3.2. Las diferencias entre propiedades y predicados, así como entre el álgebra de los tipos y el álgebra de los conjuntos son las razones de que analicemos tanto el concepto de tipo natural co-

mo el de taxón biológico en términos de alcances de propiedades en vez de extensiones de predicados; para detalles véase Bunge 1977a.) Así, cuando tomamos tres propiedades P, Q y R, la intersección de sus correspondientes alcances, es decir, $S(P) \cap S(Q) \cap S(R)$, da el tipo natural N, cuyos miembros son P- y Q- y R-equivalentes. La extensión de N, sin embargo, debe ser igual por lo menos al alcance de una de las propiedades P, Q o R. Por ejemplo, al menos debe ser igual a la de $S(R)$ si $S(P) \supseteq S(Q) \supseteq S(R)$.

Dos ejemplos pueden ayudar a ilustrar este punto. Representen P la propiedad "poseer una chorda dorsalis", Q "poseer un huevo amniota" y R "poseer tres osículos en el oído". Entonces podemos decir que es *necesario* que un organismo que posea tres huesecillos en el oído sea al mismo tiempo un amniota y un cordado, esto es, que las propiedades correspondientes guardan una relación legal. (Esta necesidad es nomológica, no lógica.) Así, la clase Mammalia es un tipo natural *sensu lato*. (Modificaremos esta concepción en la sección 7.2.2.2 porque debemos tomar en cuenta la evolución, es decir, la descendencia con modificación.)

Podría parecer que el siguiente es un contraejemplo de nuestra concepción de los taxones como tipos naturales. De hecho, lo que vale para la posesión de tres huesecillos en el oído entre los mamíferos también parece valer si, por ejemplo, se considera que la propiedad R es la de tener sangre caliente. A primera vista parece necesario ser amniota para tener sangre caliente. De acuerdo con esto, una clase Haematothermia (que comprende aves y mamíferos) también pareciera ser un tipo natural *sensu lato*. Como la mayor parte de los sistemáticos rechazarán un taxón Haematothermia por ser polifilético (véase, sin embargo, Gardiner, 1993), queremos hacer especial hincapié en que este ejemplo no vuelve inservible al concepto de tipo natural *sensu lato*. Sólo muestra que la naturalidad viene en grados, y que debemos distinguir entre predicados y propiedades (sustanciales), ya que un análisis más a fondo puede mostrar que el predicado 'de sangre caliente' no se refiere a una propiedad sustancial sino a dos (en lenguaje familiar: convergencia.) Por ejemplo, la temperatura promedio de las aves es algo mayor que la de los mamíferos, y los mecanismos fisiológicos que originan la homeotermia como una propiedad global probablemente también son diferentes.

Esta noción de tipo natural en sentido amplio resulta suficiente para caracterizar los taxones de las clasificaciones científicas *en general*. Así, los taxones son tipos naturales, los tipos naturales son tipos, los tipos son clases y las clases son colecciones, pero no a la inversa. Como los taxones son tipos naturales y las especies son taxones, las especies también son tipos naturales. Es más, como los tipos naturales son objetos conceptuales y no materiales, las especies también son constructos, pero no arbitrarios u ociosos. En realidad, las especies son aquellos tipos de cosas a los que llegamos cuando consideramos *todas* sus propiedades legalmente relacionadas. En otras palabras, la concepción amplia de los tipos naturales debe estrecharse para llegar a los tipos naturales *sensu stricto* o *especies* (en sentido ontológico.)

7.2.1.8 Especies o tipos naturales *sensu stricto*

Puede obtenerse una caracterización de los tipos naturales *sensu stricto* en términos del concepto de espacio nomológico de los estados (recuérdese sección 1.4.3). Mientras que cualquier subconjunto (o haz) de propiedades nomológicamente relacionadas de una cosa induce un tipo natural *sensu lato*, es decir, un espacio nomológico de los estados con respecto a cierta ley$_1$ o leyes$_1$, el conjunto de *todas* las leyes de una cosa determina su espacio nomológico de los estados total, y de esta manera el tipo natural *sensu stricto* o *especie* (ontológica) a que pertenece: véase fig. 7.3. En otras palabras, mientras que la equivalencia nomológica total genera una especie, la equivalencia nomológica con respecto a *algunas* propiedades arroja sólo un tipo natural en sentido amplio. Así, los halógenos constituyen un tipo natural en sentido amplio, mientras que el flúor, el cloro y el yodo son tipos naturales en sentido estricto, o sea, especies atómicas. (Nótese que podemos distinguir, digamos, la especie atómica *cloro* del tipo natural *cloro gaseoso*, que es un agregado compuesto por moléculas diatómicas de cloro y tiene por lo tanto propiedades emergentes de las que sus componentes carecen.)

La situación es análoga en los organismos, pero resulta mucho menos obvio cuáles son los tipos naturales *sensu stricto*. Por ejemplo, todos los mamíferos pertenecen a un tipo natural *sensu lato* y lo mismo vale para todos los primates y todos los homínidos. Pero ¿qué hay de todos los seres humanos? Aun cuando todos los seres humanos también pertenecen a un tipo natural, puede no ser un tipo natural *sensu stricto*. Después de todo, no sólo hay diferentes morfos, tales como machos y hembras, sino también un número de variedades (p. ej., razas) que son nomológicamente diferentes. Así, el tipo natural *sensu stricto* aparentemente no se encuentra en el nivel de *Homo sapiens*, sino más plausiblemente en el de morfo o variedad; y esto parece válido para la mayoría de las especies de organismos.

Este ejemplo muestra que una especie en el sentido de tipo natural *sensu stricto* es un concepto puramente ontológico, no taxonómico. Tanto así, que en el contexto de la sistemática semejante especie puede considerarse variedad, subespecie, subgénero o incluso género, o puede no tener estatus taxonómico alguno. Por esta razón, debemos distinguir claramente entre la noción de especie ontológica, o tipo natural *sensu stricto*, y la de especie taxonómica. Ésta es un tipo natural, ya sea en sentido amplio o estricto, pues aparece en una clasificación científica. (A menos que una clasificación esté constituida de tipos naturales de cualquier alcance, no puede considerarse natural.) La primera merece una definición propia, porque la necesitaremos para el análisis del concepto de especiación:

DEFINICIÓN 7.2. Cualquier clase de entidades completamente nomológicamente equivalentes se denomina *tipo natural sensu stricto* o *especie* (*ontológica*.)

(Para la noción de especie de organismo, véase la definición 4.6; para un primer intento de la noción de ley para definir especie, véase Ruse, 1969.)

Finalmente, debemos distinguir los conceptos ontológico y taxonómico de la

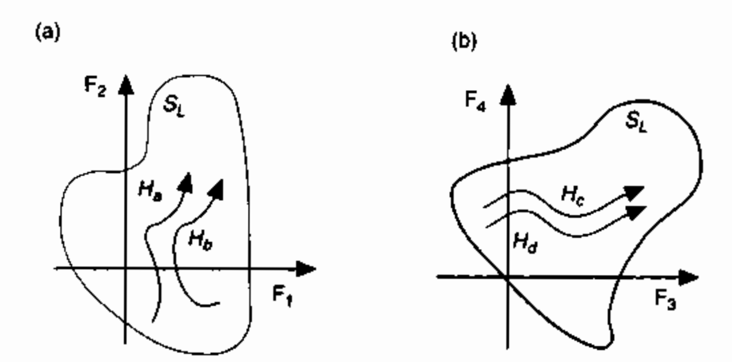


Fig 7.3 a,b. Los organismos de especies diferentes "tienen" diferentes espacios nomológicos de los estados. **a** El espacio de los estados de los organismos de la especie *A* es abarcado por las funciones de estado F_1 y F_2. Las trayectorias H_a y H_b representan las historias de dos organismos individuales *a* y *b*, de especie *A*. **b** Lo mismo para la especie *B*, con los dos individuos *c* y *d*, caracterizados por las propiedades F_3 y F_4.

noción lógica de especie. Una especie lógica es cualquier tipo de objetos, naturales o artificiales, materiales o conceptuales, que es un subconjunto de un tipo más amplio que se denomina *género*. Por ejemplo, si el género (lógico) es Vertebrata, entonces la *differentia specifica* "de cuatro patas" da la especie (lógica) Tetrapoda. Así, estos términos sólo corresponden a las nociones de lo genérico (o general) y lo específico. (Véase también Mayr 1982.)

En suma, debemos distinguir entre los conceptos lógico, ontológico y taxonómico de especie. Sin embargo, ya sea que una especie taxonómica coincida o no con una ontológica, una clasificación biológica es científica y natural sólo si contiene taxones que son clases de organismos nomológicamente equivalentes. Por esta razón, resulta útil distinguir entre los diferentes taxones mediante la noción de espacio nomológico de los estados: véase fig. 7.3.

7.2.1.9 Incursión: psicobiología de la formación de clases

La mayoría de los organismos parecen capaces de distinguir entre los organismos que pertenecen a su propio tipo y los que pertenecen a otro. Al hacerlo, es posible que los organismos carentes de sistema nervioso se apoyen en propiedades (bio)químicas. Puede decirse que los organismos que poseen sistemas nerviosos plásticos no sólo *reaccionan* específicamente ante otros organismos, sino que también *reconocen* a organismos pertenecientes a su mismo tipo o a otro diferente. Esto vale, por ejemplo, para las relaciones a menudo muy específicas entre potenciales parejas sexuales, parásitos y hospederos, predadores y presas, etc. Así, un

koala no sabe nada sobre ascendencia común cuando reconoce plantas del tipo que los botánicos denominan *Eucalyptus*.

Lo que es válido respecto de las capacidades de los animales para distinguir organismos de algún tipo por medio de propiedades (objetivas) es válido *a fortiori* para los seres humanos. Los antropólogos comparativos han observado que las clasificaciones tradicionales de plantas y animales son -en un alto grado- culturalmente invariantes. En otras palabras, las clasificaciones precientíficas de los pueblos tradicionales usualmente producen tipos de plantas y animales similares a los formados por los taxónomos científicos. Resulta interesante que el mejor nivel de concordancia entre los tipos tradicionales y los taxones científicos ocurre en el nivel de género. Esta congruencia disminuye para rangos taxonómicos superiores o inferiores. A pesar de algunas diferencias culturales -por ejemplo, los varones y mujeres pueden estar familiarizados de manera diferente con ciertas plantas y animales, y las sociedades de recolectores distinguen menos taxones que las sociedades agrícolas-, las clasificaciones precientíficas basadas en el sentido común parecen mucho menos influidas por un punto de vista utilitario (por ejemplo, cuestiones sobre comestibilidad, o significancia religiosa o simbólica) que lo que se suponía anteriormente (Boster, 1987; Berlin, 1992.)

Los biólogos -en particular los psicobiólogos- y los epistemólogos realistas no se sorprenderán demasiado con estos descubrimientos. Después de todo, existe sobrada evidencia de que el proceso de formación de tipos, tales como la clase de los gatos, es una función de sistemas neuronales especiales: muchas neuronas y sistemas neuronales reaccionan específica y selectivamente a ciertas propiedades de las cosas percibidas. En otras palabras, una de las funciones básicas de los módulos sensoriales del córtex visual es la *categorización* de los estímulos que llegan (Zeki, 1993.) Asumiendo que tales unidades (o módulos) de propiedades únicas pueden combinarse e interconectarse para formar supersistemas discriminantes, podemos también conjeturar que formar un concepto de tipo "concreto", esto es, una clase de cosas o eventos reales, consiste en responder uniformemente a todos y a cualquiera de los miembros de una clase dada de objetos (Bunge, 1980.) Así, sugerimos la siguiente hipótesis:

POSTULADO 7.1. Represente *C* un conjunto de cosas o eventos (simultáneos o sucesivos.) Entonces, existen animales equipados con sistemas neuronales plásticos cuya actividad es disparada directa o indirectamente por cualquier miembro de *C*, y es independiente de qué miembro en particular los activa.

Sin embargo, esta capacidad básica necesita un considerable refinamiento antes de que pueda alcanzarse una clasificación científica. Como el postulado 7.1 da cuenta antes que nada de la clasificación cotidiana, ayuda a explicar por qué las clasificaciones profundas (es decir, científicas) a menudo se sienten como contraintuitivas, mientras que las clasificaciones de sentido común nos parecen naturales. Por ejemplo, agrupar aves y crocodilianos es, a primera vista, contrain-

tuitivo, mientras que formar una clase de reptiles no. Esto muestra cuán ambigua es la noción de clasificación *natural*.

7.2.2 *Clasificación*

7.2.2.1 Clasificación por partición

Así como podemos analizar cosas e ideas individuales, también podemos analizar colecciones de cualquiera de ellas. El modo más elemental de análisis de una colección es su *partición* en subcolecciones homogéneas. El modo más simple de tal partición es la *dicotomía*, que es tan simple que casi siempre ocurre como una primera etapa en el análisis. Por ejemplo, podríamos empezar por clasificar los organismos partiendo dicotómicamente la colección de los seres vivientes en comestibles y no comestibles. Una clasificación más refinada de los organismos podría ser una tetracótoma, tal como cuando los clasificamos de acuerdo con su modo de vida, lo que puede resultar en cuatro clases: acuáticos, anfibios, terrestres y aéreos.

La clave para tal partición es el concepto de mismidad en algún aspecto –es decir, equivalencia– antes examinado. Se dice que una relación de equivalencia *induce la partición* de una colección dentro de una familia (o colección) de *clases de equivalencia*, y que todos los miembros de cada clase de equivalencia son equivalentes en el aspecto dado. La operación que da por resultado la formación de tal familia se denomina *cociente* del conjunto dado S entre la relación de equivalencia dada $\sim$ (se escribe '$S/\sim$'). Por ejemplo, las camisetas usualmente vienen en (al menos) tres tallas: chica, mediana y grande. En este caso, la relación de equivalencia "la misma talla que" ($\sim$) crea una partición del conjunto de camisetas T en una familia de tres clases de equivalencia: CH, M, y G. Esto es, $T/\sim = \{CH, M,$ y $G\}$, donde $CH \cap M = \emptyset$, $CH \cap G = \emptyset$, $M \cap G = \emptyset$, y $T = CH \cup M \cup G$.

Una vez realizada una primera partición $P_1 = CH/\sim_1$ de una colección original, hemos completado el primer rango de clasificación, que está constituido por *especies*. (Nótese que aquí 'especie' se refiere a especies taxonómicas, lo que significa ser miembro de cualquier categoría de primer rango, no necesariamente un tipo natural *sensu stricto* como se delineó antes.) Estas especies pueden agruparse a su vez usando una segunda relación de equivalencia $\sim_2$, definida sobre la familia P_1, esto es, $P_2 = P_1/\sim_2 = \{G_1, G_2, ..., G_m\}$. Los miembros de esta partición pueden denominarse *géneros*. Una tercera relación de equivalencia, definida sobre P_2, inducirá el tercer rango de clasificación, compuesto por ejemplo de *familias*. También puede invertirse el proceso, esto es, comenzar haciendo una partición de la colección original en clases de rango superior y procediendo a distinguir subconjuntos dentro de ellas. Al descender de las clases de rango superior hacia las de rango inferior, lo hace con ayuda de relaciones de equivalencia cada vez más finas. Toda clasificación, entonces, tiene dos dimensiones: la horizontal ligada a las relaciones de membrecía ($\in$) y equivalencia ($\sim$), y la vertical li-

gada a la relación de inclusión (⊆). Así, toda clasificación por partición es un ejemplo o modelo trivial de teoría de conjuntos elemental.

Puede resultar de ayuda exhibir unos pocos ejemplos más antes de seguir adelante. Un ejemplo de la química consiste en la partición de todos los átomos que poseen el mismo número de protones. Mediante esta partición obtenemos más de un centenar de clases de equivalencia: las especies atómicas o elementos químicos. Éstas, a su vez, pueden partirse aún por la relación de equivalencia "tener la misma valencia" y otras propiedades relacionadas con la valencia. El resultado es la Tabla Periódica de los Elementos. Una biopoblación puede analizarse en colecciones de individuos del mismo morfo (p. ej., sexo o casta), la misma edad, o lo que fuere. El conjunto de todos los amniotas equivalentes respecto a su recubrimiento cutáneo global puede partirse en reptiles (escamas), aves (plumas) y mamíferos (pelo.) (Los cladistas no deberían dejar de leer aquí; pronto serán confortados.)

Para resumir, las clases se forman agrupando individuos que comparten ciertas propiedades, incluso si difieren en todos los demás aspectos. Un solo atributo *A* y su complemento no *A* permitirían hacer enunciados de tipo blanco/negro tales como "*c* es un *A*" y "*c* es un no *A*". Un par de atributos *A* y *B*, nos permiten formar cuatro proposiciones diferentes: "*c* es un *A* y un *B*", "*c* es un *A* y un no *B*", "*c* es un no *A* y un *B*", y "*c* es un no *A* y un no *B*" -o sea, los componentes de una tabla de contingencia de 2 × 2. En general, para *n* atributos podemos formar 2^n proposiciones para cualquier individuo dado. Cada uno de estos conjuntos puede denominarse una *partición booleana*.

Ahora estamos listos para formular algunos principios generales de clasificación (cf. Bunge, 1983a).

7.2.2.2 Principios generales de la clasificación

Una *clasificación* de una colección de individuos dada -ya sean conceptos, cosas concretas, eventos o lo que fuere- es una operación conceptual con las siguientes características:

1. Cada miembro de la colección original es asignado a alguna *clase*.

En lógica tradicional, la colección original de una clasificación se denominaba *genus summum*. En la clasificación biológica la colección original más amplia, es el conjunto de todos los organismos. Sin embargo, es posible elegir cualquier colección como la básica. Por ejemplo, podemos estar interesados sólo en clasificar plantas, insectos o aves. En una clasificación biológica, se denomina *taxón* cualquier clase a la que se asigna un organismo.

2. Hay dos tipos de clase: simple (o básica) y compuesta; esta última es la unión de dos o más clases simples.

En general, cada clase básica se denomina *especie* o, más precisamente, *taxón especie*. Nótese que esta noción taxonómica de especie deriva de la *species infimae* de la lógica tradicional y no necesariamente coincide con la especie ontológica, como se explicó en la sección 7.2.1.8. Todo taxón superior es la unión de dos o más taxones especie. En consecuencia, los que se denominan taxones *monotípicos* en la clasificación linneana, es decir, taxones que contienen una sola especie, no cumplen con esta condición porque son idénticos a una clase simple, una especie. El conjunto de todos los taxones especie se denomina *categoría de especie* o *rango de especie*. Las categorías son así clases de clases (taxones.) Por esta razón, las categorías no son tipos naturales.

3. Toda clase básica (simple) se compone de algunos de los *miembros* de la colección original, y ninguna clase básica se compone de subclases.

Puesto que en la clasificación biológica la colección original es la colección de todos los organismos, y como las clases básicas son taxones especie, estas últimas son conjuntos de organismos, y no conjuntos de poblaciones. Es importante destacar esto porque contradice el principio de la "Nueva Sistemática" de que las poblaciones o especies (como individuos) son las unidades de clasificación (p. ej., Mayr y Ashlock, 1991.) Como se verá a continuación, si las poblaciones fueran las unidades de clasificación, sería imposible formular proposiciones tales como "Aristóteles es un ser humano" o "Aristóteles pertenece a *Homo sapiens*".

La clasificación tradicional linneana considera clases por debajo del nivel de la especie, tales como subespecies, variedades y formas. Aunque este procedimiento muestra que los sistemáticos distinguen intuitivamente entre especies ontológicas y taxonómicas, presupone que las especies no son las clases básicas de la clasificación. Y como no todas las especies se subdividen de esta manera, viola la condición (10) siguiente.

4. Cada clase es un *conjunto* cuya membrecía está determinada mediante un predicado o una conjunción de predicados.

Es decir, que los taxones se definen intensionalmente y no extensionalmente. Por ejemplo, un taxón $\mathcal{T}$ se define como $\mathcal{T} = \{x \in O \mid Px\}$, donde O designa al conjunto de los organismos y P es un predicado o una conjunción de predicados. Es más, la intensión precede a la extensión, porque se puede determinar la extensión de una clase sólo si se puede distinguir a los miembros de los no miembros. (En contraste, lo que puede definirse sólo extensionalmente son conjuntos propiamente dichos, no clases: recuérdese sección 7.2.1.4.)

Como las clases son definidas por predicados, lo que se define son *taxones*, no *nombres* de taxón, como sostienen los bionominalistas (p. ej., Hull, 1965; Buck y Hull, 1966; de Queiroz y Gauthier, 1990.) Si los taxones fuesen individuos concretos, como afirman los bionominalistas, en el mejor de los casos se les podría *asignar* nombres apropiados, pero no podrían definirse nombres de taxón. La

razón es que las definiciones nominales son identidades, es decir, que el símbolo '$=_{df}$' ha de leerse "idéntico por definición", y un signo o nombre no puede ser idéntico a su *nominatum* (recuérdese secciones 2.3 y 3.5.7.) A nuestro entender, nombrar un taxón equivale a adjuntar un signo a una clase previamente definida, lo que constituye una operación puramente convencional.

El requerimiento de que en una clasificación los taxones se definan mediante un conjunto de propiedades necesarias y suficientes no representa problema alguno en disciplinas no biológicas. Sin embargo, los objetos de la clasificación biológica son diferentes de las cosas no vivientes en que ellos experimentan o pueden experimentar desarrollo y cambios evolutivos. Por lo tanto, cualquier rasgo desarrollado o evolucionado puede, en forma subsecuente, perderse o sufrir nuevos cambios cualitativos. Esto se encuentra en la base del argumento antiesencialista contra la concepción de que los taxones biológicos son tipos naturales definidos por un conjunto de propiedades necesarias y suficientes. El hecho de la evolución, según este argumento, ha refutado definitivamente el esencialismo, dejando así obsoletas las condiciones taxonómicas tales como (4). Analicemos este problema más de cerca.

Al definir, por ejemplo, el taxón entomológico Pterygota mediante el predicado "poseen un par de alas tanto en el mesotórax como en el metatórax", enfrentamos los siguientes problemas. Primero, los pterigotas poseen alas (funcionales) sólo como adultos. Entonces, por ejemplo, ¿cómo se supone que clasificaríamos una oruga? Una solución consiste en mirar toda la historia de vida del individuo dado. Si observamos que la oruga eventualmente se convierte en una mariposa que posee dos pares de alas, se justifica que la clasifiquemos como un insecto pterigota. Sin embargo, ¿qué hay si la oruga muere antes de la metamorfosis, lo que no es un evento improbable en vista de, digamos, la predación por parte de las aves y otros imponderables de la vida? Segundo, algunos pterigotas poseen sólo un par de alas, como es el caso de los dípteros (moscas, mosquitos, etc.), o, peor aún, otros no poseen alas en absoluto, tal como las pulgas y los piojos, aunque sin duda alguna pertenecen al taxón Pterygota, como queda demostrado por otros de sus rasgos.

Así, no debe sorprendernos que cualquier definición de los taxones mediante una conjunción de predicados, esto es, una lista de propiedades necesarias y suficientes, se haya considerado imposible en biología. Antes del advenimiento del bionominalismo, se había propuesto la llamada definición *disyuntiva* o *politípica* (o *politética*) como solución a este problema (p. ej., Beckner, 1959; Hull, 1965.) De acuerdo con esto, un taxón $\mathcal{T}$ no se definiría como, digamos, $\mathcal{T} = \{x \in O \mid Px \,\&\, Qx \,\&\, Rx\}$, donde $\mathcal{T}$ equivale a la intersección de los alcances de las propiedades P, Q y R, es decir $\mathcal{T} = S(P) \cap S(Q) \cap S(R)$. Más bien, se definiría como $\mathcal{T} = \{x \in O \mid Px \vee Qx \vee Rx\}$. En este caso, $\mathcal{T}$ no equivale a la intersección sino a la unión de los alcances de las propiedades en cuestión, es decir, $\mathcal{T} = S(P) \cup S(Q) \cup S(R)$. Sin embargo, para obtener un tipo natural es necesario que los alcances de las propiedades en cuestión se incluyan unos a otros, o que sean coextensivos. En consecuencia, en el ejemplo precedente sólo se obtiene un tipo natural si $S(P) \cap S$

$(Q) \cap S(R) = S(P) \cup S(Q) \cup S(R)$, condición que se cumple sólo cuando los tres alcances son idénticos. Esto es, no hay manera de evitar la definición de un taxón tipo natural mediante propiedades necesarias y suficientes. Cualquier lista de propiedades que sólo sean suficientes no definirá toda la clase $\mathcal{T}$ sino sólo una subclase de $\mathcal{T}$. Una definición politética es entonces, en el mejor de los casos, una lista de indicadores que permitirían *reconocer* cualesquiera organismos pertenecientes al taxón dado. Pero, por supuesto, los indicadores no definen un taxón.

Aunque los neonominalistas fuertes no parecen darse cuenta de esta consecuencia de las definiciones politéticas, son más consistentes al ir aún más lejos afirmando que los taxones, si son monofiléticos, no se definen en absoluto mediante (predicados referidos a) propiedades organísmicas (p. ej., de Queiroz, 1988, 1992, 1994; Wiley, 1989; de Queiroz y Gauthier, 1990; Sober, 1993.) Por ejemplo, no importa qué propiedades pueda poseer un mamífero, lo que hace que un organismo sea mamífero es que desciende de un ancestro común. Esto es, la única propiedad necesaria y suficiente para pertenecer a cualquier taxón es "descender del mismo ancestro en común". Aunque hay un grano de verdad en esta propuesta, no resuelve el problema. El grano de verdad estriba en que es posible definir una clase de objetos mediante la propiedad relacional de la descendencia. Pero esta relación *es* una propiedad de los objetos en cuestión. Por ejemplo, "descender del mismo ancestro común" es un predicado (relacional) mediante el cual podemos definir un taxón $\mathcal{T} = \{x \in O \mid Dxb\}$, donde '$Dxb$' significa "$x$ desciende de b". Esta sola definición, sin embargo, no es muy esclarecedora, ya que no tenemos la menor idea de cómo son x y b. Cada cosa es individualizada por *todas* sus propiedades, no por una sola de ellas, incluso si es posiblemente esencial. Como Ruse (1987) hace notar adecuadamente, la descendencia parece haberse convertido en la nueva esencia de los antiesencialistas.

La afirmación de los bionominalistas fuertes equivale a aseverar que para individualizar, por ejemplo, al individuo Wolfgang Amadeus Mozart, basta la sola propiedad relacional "hijo de Leopold y Anna Maria Mozart". Aunque esta propiedad relacional puede no carecer de importancia, sólo ofrece una descripción muy poco informativa. En otras palabras, podría resultar suficiente para reconocer a Mozart siempre y cuando hubiera sido su único hijo, pero no lo individualiza. Otro problema con esa propuesta es que la relación "descender del mismo ancestro común" sólo define la progenie de un ancestro común dado. En sistemática filogenética, sin embargo, el ancestro en común usualmente se incluye en un taxón monofilético (más sobre esto a continuación.)

Afortunadamente, resulta posible tomar en cuenta las serias preocupaciones de los politeticistas y los bionominalistas evitando al mismo tiempo sus conclusiones, ontológicamente insostenibles. Un primer paso consiste en usar la noción de tiempo en la definición de un taxón, como hicimos en la sección 7.2.1.3 al introducir el concepto de colección variable. Ahora, sin embargo, no definimos una colección de organismos en cierto momento sino una clase de organismos que pueden poseer una propiedad dada sólo en un cierto tiempo en su historia de vida. (Véase, p. ej., la noción de *semaforonte* de Hennig.) Asumamos nuevamen-

te que el taxón $\mathcal{T}$ se define mediante tres predicados P, Q y R. Entonces, al incluir la noción de tiempo, definimos al taxón $\mathcal{T}$ como $\mathcal{T} = \{x \in O \mid (\exists t)\ Pxt\ \&\ Qxt\ \&\ Rxt\}$. (Léase: "Para todos los organismos x, x posee la propiedad P en algún tiempo t, x posee Q en algún tiempo t, y x posee R en algún tiempo t".)

Semejante definición aún excluye organismos que han perdido algunas propiedades, es decir, que ya no poseen una propiedad dada en algún momento de su historia de vida. Por ejemplo, las pulgas se clasifican como pterigotas no porque tengan alas, que no tienen, sino porque (a) poseen otras propiedades, tales como experimentar una metamorfosis durante algún período de su desarrollo, lo que los hace miembros de Holometabola, que es un subconjunto propio de Pterygota, y (b) porque (debe asumirse que) descienden de ancestros alados. Así, podemos decir que para que cualquier organismo x sea un pterigota debe poseer dos pares de alas en algún momento de su historia de vida o descender de algún ancestro y que poseía dos pares de alas durante algún tiempo de su historia de vida.

Para ser más precisos, designe O el conjunto de todos los organismos, D la relación de descendencia, y P, Q y R predicados que representan otras propiedades sustanciales de los organismos. Definimos ahora al taxón $\mathcal{T}$ mediante la *conjunción* de tres predicados complejos: $\mathcal{T} = \{x \in O \mid (\exists t)\ (\exists y)\ (Pxt \vee [Dxy\ \&\ y \in O\ \&\ Pyt])\ \&\ (Qxt \vee [Dxy\ \&\ y \in O\ \&\ Qyt])\ \&\ (Rxt \vee [Dxy\ \&\ y \in O\ \&\ Ryt])\}$. (Léase: "Para todos los organismos x: x posee la propiedad P en algún tiempo t, o x desciende de y, e y es un organismo, e y poseía la propiedad P en algún tiempo t, y x posee Q en algún tiempo t, o...".) Para ser aún más precisos, deberíamos además tomar en cuenta el ambiente en el cual los organismos en cuestión desarrollan o han desarrollado el carácter en cuestión. Después de todo, "...los caracteres de los organismos son realmente caracteres del organismo *y* su ambiente" (Woodger, 1929:346; cursivas del original.) Sin embargo, como en el próximo capítulo trataremos las cuestiones del desarrollo, en particular la relación organismo-ambiente durante el desarrollo, podemos ignorar aquí esta complicación.

Aunque esta definición admite todas las eventualidades, una definición más simple dependiente del tiempo tal como $\mathcal{T} = \{x \in O \mid (\exists t)\ Pxt\}$ funcionará en la mayoría de los casos. Por ejemplo, muchos organismos durante su desarrollo atraviesan un llamado *estadio filotípico*, común a todos los miembros del taxón, no importa cuánto difieran sus vías de desarrollo antes o después de esta etapa (Hall, 1992; Slack *et al.*, 1993.) Así, los vertebrados pasan por el invariante cuello de botella del estadio *pharyngula*, que es el período durante el cual se desarrollan los arcos branquiales (Gilbert 1994); los amniotas comparten durante su desarrollo el llamado *surco primitivo*; y un período filotípico de los artrópodos es el estadio de *banda germinal* (Patel 1994.) Así, aunque lo nieguen los antiesencialistas, aparentemente hay candidatos para rasgos invariantes en ciertos taxones.

Incluso si tomamos en serio la evolución debemos admitir que, por involucrar la noción de descendencia, las definiciones de tipos naturales de organismos pueden coincidir, aunque no necesariamente, con las de tipos naturales de cosas no vivientes. A fin de tomar en cuenta esta diferencia, podemos usar la expresión *tipo biológico* en vez de 'tipo natural' al tratar de organismos, aun cuando los ti-

pos biológicos, por supuesto, también son naturales. Lo que es más importante, sin embargo, es que los tipos biológicos siguen siendo clases, no individuos concretos.

5. Cada clase está *definida*, es decir, no hay casos fronterizos.

En la práctica, por supuesto, el sistemático puede no estar seguro de poner cierto organismo en un taxón dado. Sin embargo, eventualmente deberá tomar una decisión, aunque sea provisional. Por ejemplo, los llamados reptiles mamiferoides deben agruparse con los reptiles, con los mamíferos o con ninguno –en cuyo caso deberán ser puestos en una clase separada.

6. Dos clases cualesquiera son mutuamente *disyuntas* (es decir, no tienen miembros en común), o una de ellas *incluye* (contiene) a la otra: en el primer caso se dice que pertenecen al mismo *rango*, y en el segundo a rangos diferentes.

En biología, debemos añadir otro requisito: cada clase es *no vacía*. En contraste, por ejemplo, con la Tabla Periódica de los elementos químicos, que contenía clases vacías cuyos miembros aún quedaban por descubrir, no hay puestos vacantes en una clasificación de organismos. La razón es que las clasificaciones biológicas no se construyen mediante una auténtica partición, como la que se explicó en la sección 7.2.2.1 (véase también sección 7.2.2.3).

7. Sólo hay involucradas dos relaciones (lógicas): la relación de membrecía ($\in$) –irreflexiva, asimétrica e intransitiva, que relaciona los miembros de la colección original con las clases del primer rango– y la relación de *inclusión* ($\subset$) –irreflexiva, asimétrica y transitiva, que relaciona clases de distinto rango.

En una clasificación biológica todo organismo es miembro de algún taxón especie, y un taxón especie puede incluirse en algunos taxones de orden superior. Recuérdese que la relación de membrecía es intransitiva: si $A = \{x\}$ y $B = \{A\}$, entonces $x \in A$ y $A \in B$, pero $x \notin B$. Así, sólo los organismos son los elementos o unidades de la clasificación, y ningún taxón es miembro ($\in$) de otro taxón. La relación entre taxones es la de inclusión de conjuntos ($\subset$). Por ejemplo, los primates son un subconjunto de los mamíferos (Primates $\subset$ Mammalia.) Como sólo están involucradas las relaciones de membrecía de un conjunto o inclusión entre conjuntos, es posible hacer enunciados tales como "Aristóteles es un ser humano" (o, en símbolos obvios, "$a \in$ *Homo sapiens*"), "Aristóteles es un primate" (o "$a \in$ Primates"), "$a \in$ Mammalia", "$a \in$ Vertebrata", etcétera.

En la sistemática tradicional –donde la asignación de rangos, o sea de categorías acordes con la jerarquía de Linneo, es obligatoria– aparecen los llamados taxones *monotípicos* (Gregg, 1954, 1968; Sklar, 1964; Buck y Hull, 1966; Ruse, 1973.) Un taxón monotípico es cualquiera por encima del nivel de especie que contenga una sola especie como clase básica; esto es, que no sea estricta-

mente compuesto. Un famoso ejemplo es el de los cerdos hormigueros africanos, que pertenecen a la especie única *Orycteropus afer*. La jerarquía linneana demanda ahora la formación de taxones de orden superior, aunque no puede distinguirse entre propiedades de género, tribu o familia. Así, tenemos el género *Orycteropus*, la subfamilia Orycteropodinae, la familia Orycteropodidae y el orden Tubulidentata, los cuales son coextensivos con la clase básica *Orycteropus afer*. Claramente, éste es sólo un juego formalista que contradice la condición (2). La formación de tales clases monotípicas de orden superior no se debe a ninguna relación de equivalencia nueva. Por eso es que sólo la relación de ser un subconjunto propio (⊂) debería intervenir en la clasificación biológica, no la relación de inclusión ⊆ que también da lugar a la identidad de conjuntos (Véase también Hill y Crane, 1982.)

Para distinguir entre esta jerarquía sistemática o taxonómica y lo que se ha dado en llamar la *jerarquía ecológica* (Eldredge 1985a), esto es, la jerarquía constituida por células, organismos multicelulares, biopoblaciones, comunidades y la biosfera (como se elucidara en la sección 5.3), establecemos:

DEFINICIÓN 7.3. El conjunto T de todos los taxones $\mathcal{T}$ junto con la relación ⊂ de inclusión entre conjuntos, esto es $\mathcal{T} = \langle T, \subset \rangle$ se denomina *jerarquía sistemática*.

Recuérdese que la llamada jerarquía ecológica la definimos como la estructura de los bioniveles $\mathcal{B} = \langle B, < \rangle$, donde B designa el conjunto de los bioniveles y $<$ la relación de precedencia de niveles (definición 5.8). En resumen, las dos jerarquías, aunque superficialmente similares, tienen estructuras completamente diferentes. Así, el mismo término 'jerarquía' designa conceptos completamente diferentes.

8. Toda clase compuesta, es decir, toda clase de un orden más alto que el primero, es igual a la *unión* de todas sus subclases en el rango inmediatamente precedente.

Por ejemplo, cualquier orden dado es igual a la unión de sus familias, y cualquier género es igual a la unión de sus especies. Un ejemplo de la sistemática evolutiva sería: Vertebrata = Agnatha (peces sin mandíbulas) ∪ Chondrichthyes (peces cartilaginosos) ∪ Osteichthyes (peces óseos) ∪ Amphibia ∪ Reptilia ∪ Aves (pájaros) ∪ Mammalia. En contraste, en una clasificación cladística, Vertebrata = Agnatha (si es monofilético) ∪ Gnathostomata (vertebrados con mandíbulas.)

9. Todas las clases de un rango dado son *disyuntas de a pares* (no se intersecan), por lo que ningún ítem en la colección original pertenece a más de una clase del mismo rango.

Usando el ejemplo cladista precedente: Agnatha ∪ Gnathostomata = ∅. Si no se cumple esta condición, podemos hablar de una *tipología* pero no de una clasificación.

10. Toda partición de un rango dado es *exhaustiva*, es decir, que la unión de todas las clases en un rango dado equivale a la colección original.

Ejemplo: Obviamente, todos los taxones del rango de familia tomados juntos dan por resultado la colección original, o sea, el conjunto O de todos los organismos. Así, O = Hominidae ∪ Pongidae ∪ Apidae ∪ Lumbricidae ∪ Magnoliaceae ∪ Asteraceae, etcétera.

7.2.2.3 Bases de una clasificación biológica natural

Como los sistemáticos ya habrán anticipado, en biología una clasificación por partición, como se delineó en la sección 7.2.2.1, puede resultar todo menos una clasificación filogenéticamente significativa. (Véase, p. ej., la clasificación basada en la geometría, en Haeckel, 1866, que intentaba clasificar a los organismos de acuerdo con leyes. Desafortunadamente, sin embargo, eligió leyes matemáticas en vez de biológicas. Véanse también los cuestionables intentos de concebir una "taxonomía racional" basada en leyes de la forma: sección 8.2.2.1.) Algunos autores, en especial Ernst Mayr (1982; Mayr y Ashlock, 1991), sostienen incluso que los principios de clasificación que se aplican al agrupamiento de seres vivientes serían totalmente diferentes de los que se aplican a las cosas no vivientes. Esta postura contiene un grano de verdad, pero vale sólo para las clasificaciones consistentemente filogenéticas. La diferencia entre una clasificación filogenética y una no filogenética, así como una extrabiológica, es sutil y, curiosamente, no se aplica a la propia taxonomía evolutiva de Mayr (véase más adelante).

Para empezar, desde un punto de vista ontológico hay una partición objetiva y significativa de los organismos en subcolecciones homogéneas. Ésta es la partición en especies ontológicas, es decir, tipos naturales *sensu stricto*, donde la relación de equivalencia es "que poseen el mismo conjunto de leyes". Así, todos los organismos que comparten todo su espacio nomológico de los estados pertenecen a una especie ontológica en particular. Sin embargo, como destacamos anteriormente, estas especies ontológicas no necesariamente coincidirían con especies taxonómicas. En organismos de reproducción sexual podríamos aplicar el criterio tradicional de la capacidad de aparearse y reproducirse exitosamente, es decir, "tener el mismo sistema de fertilización" (Paterson, 1985). Esta relación de equivalencia también arrojaría tipos naturales. Sin embargo, de nuevo, no necesariamente coincidirían con especies taxonómicas.

No obstante, *pace* Dupré (1981), este estado de cosas no prueba que no haya partición alguna, significativa y objetiva, de los organismos en especies. Sólo muestra que los sistemáticos biológicos no prestan mucha atención a las especies ontológicas, y en cambio normalmente asignan el estatus de especies taxonómicas a tipos naturales de alcance más amplio. Por lo tanto, las especies taxonómicas (y en realidad todos los taxones biológicos) no se definen en verdad mediante la partición del conjunto de los organismos en subcolecciones homogéneas, aunque en principio se podría hacer reconociendo sólo especies ontológicas como espe-

cies taxonómicas. Aun así, parece imposible cualquier nueva partición de la colección de especies ontológicas obtenidas de este modo en colecciones de taxones de orden superior.

La razón es que, de Darwin en adelante, una clasificación natural en biología usualmente se considera que refleja las relaciones genealógicas (filogenéticas) entre los organismos, es decir, descendencia con modificación. Pero la descendencia con modificación resulta en un árbol filogenético con ramas desiguales. En estas ramas las novedades cualitativas, mediante las cuales se caracterizan los animales que pertenecen a estos linajes, evolucionan irregularmente y en forma independiente unas de otras. Otro resultado de esta ramificación irregular es que ni las ramas ni las puntas de la filogenia son equidistantes del principio, es decir, el taxón más alto o la colección original. Por lo tanto, una partición sucesiva de los organismos en subcolecciones homogéneas mediante un conjunto de relaciones de equivalencia de diferente poder resultará todo menos una clasificación filogenéticamente significativa. (Esto no significa que tal partición y clasificación, de ser posibles, serían ilegítimas. Por ejemplo, podríamos estar interesados en una clasificación funcional o ecológica.)

En consecuencia, ningún sistemático esperará que todos los taxones de un rango dado, tales como las familias Hominidae, Apidae (abejas), Lumbricidae (lombrices de tierra), Magnoliaceae, etc., sean equivalentes en algún aspecto biológicamente significativo. De hecho, el único atributo que estos taxones tienen en común es que a todos ellos se les asignó el rango de familia, y este atributo no corresponde por cierto a ninguna propiedad sustancial de acuerdo con la cual los organismos involucrados serían equivalentes. Así, se ha admitido hace tiempo que los (miembros de los) taxones en cualquier categoría de la jerarquía linneana no tienen nada en común (Mayr 1982.) Por esta razón, las categorías linneanas han de considerarse meros formalismos, y por lo tanto descartables en última instancia (p. ej., Griffiths, 1974; Ax, 1984, 1988, 1995; de Queiroz y Gauthier, 1992; Mahner, 1993b; Ereshefsky, 1994. No hace falta decir que los sistemáticos, en especial los de museo, no muestran inclinación a abandonar la jerarquía linneana: véase, p. ej., Andersen, 1995.)

En consecuencia, en la clasificación biológica la condición (10) puede conservarse de modo meramente formal sólo si la clasificación no es consistentemente filogenética. Si la clasificación ha de reflejar las clases naturales definidas por propiedades cuya distribución se debe a la ascendencia en común, la condición (10) debe abandonarse. Así, en realidad, la ascendencia común resulta en una diferencia formal entre clasificaciones de cosas vivientes, por oposición a no vivientes. Irónicamente, la taxonomía evolutiva à la Mayr *no* muestra diferencia formal alguna en la clasificación de cosas vivientes y no vivientes, porque impide la condición (10).

Si queremos clasificar los organismos consistentemente de acuerdo con su posesión de novedades cualitativas debidas a la descendencia con modificación, sólo hay una manera de llegar a una clasificación filogenética en biología. Ésta consiste en una versión modificada de una partición dicotómica o en lo que Mayr

(1982) denomina "clasificación descendente". Mientras que una sola partición dicotómica satisface los diez principios de la clasificación antes señalados, la versión modificada de sucesivas dicotomías delineada en lo que sigue sólo satisface las condiciones (1) a (9).

Podemos empezar con cualquier predicado P y obtener su extensión $\mathscr{E}(P)$, es decir, la clase de los organismos P-equivalentes, que para simplificar podemos abreviar como $\mathscr{P}$. Nótese que trabajamos con relaciones de equivalencia, no de similitud, porque la relación de similitud es intransitiva. También debería notarse que trabajamos con cualquier propiedad, ya sea morfológica, fisiológica, genética, de desarrollo, conductual o lo que fuere. Por lo tanto, no hay razón para restringir el término 'carácter' a los rasgos morfológicos. Finalmente, advertimos en contra de la interpretación sostenida por Eldredge (1979) y otros de que agrupamos caracteres y no organismos. Éste es un claro ejemplo de platonismo, porque las propiedades no son separables de las cosas que las poseen.

Al partir el conjunto de todos los organismos por el atributo P (que se refiere putativamente a una propiedad sustancial), simultáneamente obtenemos el complemento $\bar{\mathscr{P}}$ de esa clase de equivalencia, esto es, el conjunto de todos los organismos que no poseen P. Como no hay propiedades negativas, el predicado no-P no se refiere a ninguna propiedad real en común de los organismos en el conjunto complemento. (Véase también Nelson y Platnick, 1981). De acuerdo con esto, descartamos los complementos, es decir, que no debe asignárseles estatus taxonómico, aunque por supuesto necesitamos clases complemento para fines comparativos. Lo que los cladistas denominan *grupo externo*, por ejemplo, no es sino el complemento de un taxón dado. Lo mismo vale para los grupos parafiléticos. (Incidentalmente, si en forma consistente impidiéramos las clases complementarias, se cumpliría la condición 10 anteriormente enunciada).

Por ejemplo, podemos usar el predicado "posee un cráneo" y partir el conjunto de todos los animales en la clase Vertebrata (en el sentido de Craniata) y su complemento Invertebrata. Como esta última clase se define mediante un atributo negativo, es decir, un predicado que no corresponde a propiedad sustancial alguna, no debe asignarse estatus taxonómico a Invertebrata.

El próximo paso es buscar otra relación de equivalencia Q para formar la clase $\mathscr{Q}$ de organismos Q-equivalentes. Al hacerlo, hay varios resultados posibles, tal como se explicó en la sección 7.2.1.7, si nuevamente soslayamos todos los complementos. Como buscamos tipos naturales, es decir, correspondientes a propiedades legalmente relacionadas, no consideramos los casos en que $\mathscr{P}$ y $\mathscr{Q}$ sean disjuntos, ni donde $\mathscr{P}$ y $\mathscr{Q}$ se superpongan sólo parcialmente. De acuerdo con esto, la condición (6) sólo permite clases disyuntas de a pares o clases incluidas unas en otras. Es decir, sólo las clases donde $\mathscr{Q} \subseteq \mathscr{P}$ o $\mathscr{P} \subseteq \mathscr{Q}$ dan tipos naturales, y sólo los tipos naturales merecen estatus taxonómico. Habiendo obtenido tipos naturales (o más bien aproximaciones a tipos naturales), podemos formar generalizaciones de tipo legal, tales como "Para todo x, si x tiene la propiedad Q, también tiene la propiedad P", o "Para todo x, si x tiene la propiedad P, también tiene la propiedad Q", o "Para todo x, x tiene la propiedad P si y sólo si tiene la propie-

dad Q". Estas generalizaciones de carácter legal adquieren el estatus de enunciados legales si se convierten en parte de una teoría filogenética. El hecho de que estos enunciados legales puedan ser en gran medida estadísticos debido a la pérdida de rasgos dentro de un taxón –esto es, tener la forma: "Para la *mayoría* de x, si x posee P, entonces x posee Q"– no socava su estatus nomológico: recuérdese que hemos introducido la propiedad (relacional) de descendencia a partir de un ancestro común, poseedor de la propiedad (intrínseca) en cuestión, en la sección 7.2.2.2, condición (4).

Por ejemplo, si elegimos como segunda propiedad "posee un exoesqueleto quitinoso", la clase correspondiente Arthropoda no se solapará con Vertebrata. En cambio, la clase definida por la propiedad "vive en agua dulce" se solapará parcialmente con Vertebrata. Si elegimos "posee plumas", la correspondiente clase Aves a su vez resultará ser un subconjunto propio de Vertebrata. Ahora, P y Q se relacionan legalmente. También podríamos decir que es *necesario* (nómicamente, no lógicamente) que un organismo que posea plumas, es decir, un ave, sea un vertebrado.

Procediendo de esta manera, uno debería –al menos en principio, aunque por cierto no en la práctica– llegar a una jerarquía de clases, o, mejor dicho, tipos naturales *sensu lato*, anidados. En esta jerarquía la clase más comprensiva, o *genus summum* lógico, equivale a la colección de todos los organismos, esto es, la Vida. En cambio, las clases más pequeñas (básicas o terminales), las *species infimae* lógicas, pueden o no ser especies ontológicas o tipos naturales *sensu stricto*.

Sin duda, el procedimiento no es tan simple y directo como quisiéramos. El ideal de obtener una jerarquía completa de clases anidadas se ve obstruido por incongruencias, es decir, solapamientos entre las extensiones de algunos predicados. En muchos de estos casos, un análisis más detenido puede revelar que lo que originalmente se había conjeturado como una sola propiedad resulta, en realidad, ser dos propiedades diferentes. En un momento discutiremos varios posibles orígenes de incongruencias resolubles.

Sin embargo, hay al menos un caso de incongruencia que no puede descomponerse en principio. Para ejemplificarlo, consideramos cuatro clases $\mathscr{P}$, $\mathscr{Q}$, $\mathscr{R}$ y $\mathscr{S}$, donde $\mathscr{Q}$, $\mathscr{R}$ y $\mathscr{S}$ son subconjuntos propios de $\mathscr{P}$. Entonces, puede ocurrir la siguiente incongruencia: $\mathscr{Q}, \cap \mathscr{R} \neq \varnothing$. Asumiendo luego que $\mathscr{S} \subset \mathscr{Q}$, & $\mathscr{S} \subset \mathscr{R}$, obtenemos $\mathscr{S} = \mathscr{Q} \cap \mathscr{R}$. Claramente, este patrón puede explicarse mediante un evento de hibridación; es decir, un caso donde la especiación es de tipo $A + B \rightarrow C$ en vez de $A \rightarrow C$ o $A \rightarrow B + C$. Para no violar las condiciones (6) y (9), las clases $\mathscr{Q}$, $\mathscr{R}$ y $\mathscr{S}$ deben ingresar a la clasificación como tres taxones de igual rango (véase fig. 7.7).

Habiendo llegado a una jerarquía de clases anidades, o mejor dicho, tipos naturales, a estos últimos puede dárseles nombre. Sin embargo, este bautizo es sólo un aspecto accidental de la clasificación biológica, aunque algunos autores parecen restringir el término 'clasificación' sólo a este procedimiento formal (p. ej., Simpson, 1961; Mayr y Ashlock, 1991). La acción científica importante en la clasificación es hallar relaciones de equivalencia apropiadas que permitan definir clases naturales. "Definir" los *nombres* de los taxones, en vez de los taxones mis-

mos, como les gusta hacer a los bionominalistas, es por supuesto una actividad útil pero nada espectacular desde el punto de vista científico.

7.2.2.4 Sistemática y teoría de la evolución

La teoría más importante que puede ayudar a refinar una clasificación biológica es, por supuesto, la teoría de la evolución. Sin embargo, hasta ahora sólo nos hemos interesado en la definición de una jerarquía de clases anidadas y sus relaciones de inclusión estáticas. Es más, nuestra concepción de los taxones parece incompatible con una perspectiva evolutiva, porque las clases son objetos conceptuales a los que no se aplica la categoría del cambio. Ésta es una de las principales razones invocadas por los bionominalistas en favor de su interpretación de que las especies (o los taxones en general) no podrían concebirse como tipos naturales (p. ej., Rosenberg, 1985.) Por lo tanto, debemos mostrar antes que nada que nuestra filosofía conceptualista de la taxonomía es compatible con la evolución.

Representación gráfica de clases anidadas. A fin de facilitar la visualización del procedimiento, es conveniente introducir dos formas de representación gráfica de una jerarquía de conjuntos anidados. Una forma útil de representar gráficamente tal jerarquía es el *diagrama de Venn*, familiar a partir de la teoría de conjuntos (fig. 7.4a); otro es el de *árbol*, familiar a partir de la teoría de grafos (fig. 7.4b). Un nombre más antiguo de este último es *diagrama de Hasse*. Ambos son representaciones visuales alternativas de la misma red de relaciones lógicas; esto es, son lógicamente equivalentes. Debería señalarse que visualizan relaciones *puramente lógicas* entre conjuntos. En particular, un diagrama de Venn no representa relaciones parte-todo entre cosas, y en este caso un diagrama de árbol no representa ni un árbol filogenético ni un linaje. Es más, estos diagramas no involucran ejes temporales. Si se supone, empero, que el conceptualismo es compatible con la evolución, en particular con la hipótesis de descendencia con modificación, tal árbol lógico debe ser de alguna manera la base para hipotetizar un árbol filogenético. En realidad, el hecho de que un árbol clasificatorio o *cladograma* no sea lo mismo que un árbol filogenético ha sido enfatizado por Nelson y Platnick (1981:17.) Sin embargo, ellos afirman incorrectamente que un cladograma involucra el "elemento tiempo" (p. 36) y que un cladograma "denota" un conjunto de árboles (filogenéticos) (p. 171.) La primera proposición es incorrecta porque un cladograma no representa nada salvo conjuntos anidados; y la segunda es incorrecta porque una clasificación se refiere a organismos, no a árboles filogenéticos (recuérdese la noción de denotación o referencia del capítulo 2). Lo que es cierto es que un cladograma es *compatible* con posiblemente más de una hipótesis o un árbol filogenético.

De precedencia de propiedades a ascendencia común. Intentaremos resolver el problema de reconciliar los niveles estáticos de nuestra jerarquía sistemática con una perspectiva evolutiva, de la misma forma que lo hicimos en el caso de los bioni-

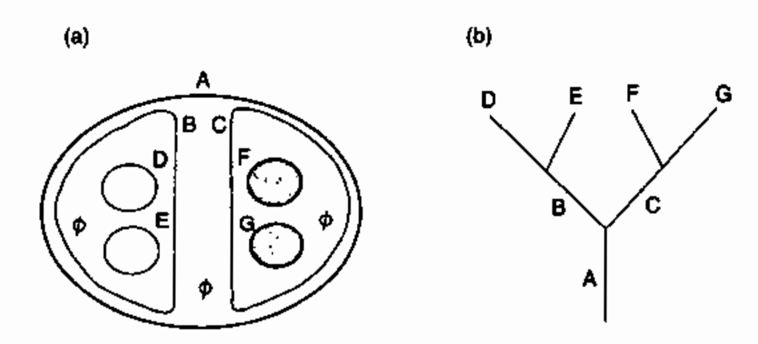


Fig 7.4 a,b. a Diagrama de Venn de conjuntos anidados. Nótese que, si se usa un diagrama de Venn para representar una clasificación biológica, entoces el espacio libre entre dos líneas divisorias cualesquiera es vacío, esto es, él mismo no es un subconjunto no vacío del conjunto dado. Esto es, en el ejemplo representado $A = B \cup C$, $B = D \cup E$, y $C = F \cup G$. Para dejar en claro que el espacio entre dos divisorias cualesquiera es vacío, debe agregarse el signo Ø tal como se muestra. (Alternativamente, podría usarse un diagrama de "torta", que no tiene espacios vacíos). **b** *Diagrama árbol* o *de Hasse* de conjuntos anidados. Esta representación es lógicamente equivalente a la que se muestra en a. En sistemática biológica los conjuntos involucrados se denominan *taxones*, y cualquier representación de este tipo se conoce como *cladograma*. A diferencia de un árbol filogenético, las líneas no representan especies ancestrales (o quizá líneas ancestrales enteras) sino inclusión de conjuntos.

veles (sección 5.3.) Así como podemos "leer" la noción de precedencia de niveles en términos de precedencia temporal, podemos interpretar la noción de precedencia de propiedades introducida en la definición 7.1 en términos de precedencia temporal. (Sin embargo, este procedimiento trasciende la clasificación.) Esto es, si una propiedad P es más común que una propiedad Q, o sea, si P precede a Q, o el taxón $\mathcal{Q}$, queda incluido en el taxón $\mathcal{P}$, entonces podemos decir que las cosas que poseen *sólo* la propiedad P, es decir, los individuos en el conjunto $\mathcal{P} - \mathcal{Q}$ han cobrado existencia antes que las cosas que *también* poseen la propiedad Q, es decir, aquéllas en $\mathcal{Q}$. Aún así, la mera precedencia temporal no implica descendencia. Por lo tanto, tenemos que estipular además que las Q-cosas descienden de las P-cosas, lo que al mismo tiempo (subsuntivamente) explica la relación legal de las propiedades P y Q. Es más, si los Q-organismos descienden de los P-organismos, podemos decir que la propiedad Q es (posiblemente) una *novedad evolutiva* que caracteriza la clase de Q-organismos, esto es, el taxón $\mathcal{Q}$. En consecuencia, todas las propiedades que pueden ser concomitantes con Q constituirán el conjunto de las novedades evolutivas de los Q-organismos; esto es, definen el taxón $\mathcal{Q}$. Cada tipo natural (anidado) en la clasificación se define así mediante un conjunto de novedades cualitativas (en terminología cladística, *caracteres derivados* o *apomorfismos*), aunque los organismos en cualquier taxón dado también se caracterizan por los rasgos que comparten con ancestros más

tempranos (en terminología cladística, *caracteres primitivos* o *plesiomorfismos.*)

¿Podemos ahora, después de todo, decir que el taxón $\mathcal{Q}$ desciende del taxón $\mathcal{P}$? No; o más precisamente, no si $\mathcal{Q}$ y $\mathcal{P}$ son taxones relacionados mediante inclusión. Como el taxón $\mathcal{Q}$ queda incluido en el taxón $\mathcal{P}$, todos los *Q son P*, que no es lo mismo que decir que todos los *Q* descienden de los *P*. Por ejemplo, como Mammalia $\subset$ Vertebrata, no podemos decir que los mamíferos descienden de los vertebrados, porque todos los mamíferos *son* vertebrados. Tampoco podemos decir que *Homo sapiens* desciende de Hominidae, porque *somos* homínidos. Sin embargo, podríamos decir que "descendemos" de otras especies de homínidos, tales como *Homo erectus* y *Australopithecus afarensis*. (El que no haya ancestros supraespecíficos ha sido enfatizado por algunos autores, aunque por razones diferentes de las nuestras, inspirados ellos por una perspectiva neonominalista: p. ej., Wiley 1981; Ax 1984, 1988.)

Al hablar de la "descendencia de especies", aún nos enfrentamos a dos problemas. Primero, no encontramos las especies ancestrales en nuestra jerarquía de clases anidadas. Segundo, todavía tenemos que resolver el problema de que las bioespecies concebidas como tipos naturales (por lo tanto, objetos conceptuales) no pueden descender unas de otras en sentido literal: sólo los organismos (en tanto objetos materiales) pueden hacerlo. Por lo tanto, debemos allanar este obstáculo elucidando primero las nociones de ancestralidad, progenie, linaje y linaje evolutivo.

Ancestralidad, linaje, evolución. A diferencia de los bionominalistas, que consideran que las especies son individuos concretos y por lo tanto están en condiciones de tratar con sólo un concepto de descendencia y linaje, nosotros debemos dilucidar dos conceptos diferentes de descendencia y linaje: uno para organismos y, si es necesario, para biopoblaciones (individuos reales), y el otro para tipos (constructos.) Aquí está el primero, que también podría enunciarse en términos de biopoblaciones en vez de organismos:

DEFINICIÓN 7.4. Designe O una colección de organismos de alguna especie. Entonces, para cualesquiera individuos x e y en O,

(i) x es un *ancestro inmediato* de y (o y desciende inmediatamente de x) si x es un progenitor de y;

(ii) x es un *ancestro mediato* de y (o y desciende mediatamente de x) si en O hay un número finito de organismos z_1, donde $1 \leq i \leq n$, tales que x desciende de z_1, que desciende de z_2, ..., que desciende de z_n, que desciende de y (en símbolos, $x <^n y$, donde $<^n$ es la n-ésima potencia de la relación $<$ de descendencia;

(iii) x es un *ancestro* de y (o y desciende de x) si x es un ancestro inmediato o mediato de y (símbolo: $x < y$);

(iv) la *ancestralidad* de x es la colección de los ancestros de x: $A(x) = \{y \in O \mid y < x\}$;

(v) la *progenie* de x es la colección de los organismos de los cuales x es ancestro: $P(x) = \{y \in O \mid x < y\}$;

(vi) el *linaje* de x es la unión de su ancestralidad y la progenie de x: $L(x) = \{y \in O \mid y < x \vee x < y\}$.

Como el estatus ontológico de los linajes no resulta en modo alguno claro en la literatura biofilosófica, enfatizamos que la ancestralidad, la progenie y el linaje de un sistema no son cosas ni "entidades históricas", sino conjuntos, donde la relación de ancestralidad (o, si se prefiere, la relación de descendencia) $<$ es un orden parcial estricto en tal conjunto. Lo que se ha dado en llamar 'nexo genealógico' (p. ej., Hull, 1978, 1987; Ghiselin, 1981) no es una relación vinculante o causal y por lo tanto no puede considerarse un acoplamiento entre partes de un sistema (recuérdese la definición 1.7). Así, los linajes no son entidades reales y no cambian ni evolucionan.

Es más, también hay razones lógicas por las que los linajes no pueden ser entidades reales. Primero, los conceptos de ancestralidad, progenie y linaje son relacionales: sólo son ancestralidades, progenies y linajes *de* cosas. Los existentes reales, en contraste, son absolutos. (Así, *pace* Wilson, 1995, una sola entidad tal como un organismo no puede ser un linaje. Además, las relaciones involucradas, de ancestralidad y descendencia, son irreflexivas.) Segundo, el tiempo ya está implícito en la noción de linaje, de manera que un cambio de un linaje sólo podría ser un cambio sin tiempo –una *contradictio in adjecto*. Lo que sí cambia son los miembros de un linaje, de un instante de tiempo al próximo; los organismos o poblaciones dan origen a nuevos organismos o poblaciones, respectivamente.

Pueden admitirse consideraciones evolutivas, de la siguiente manera:

DEFINICIÓN 7.5. Denomine $L(x)$ el linaje de un organismo x de la especie S. Entonces, $L(x)$ es un *linaje evolutivo* si y sólo si al menos un ancestro o un descendiente de x pertenece a una especie S' diferente de S.

De acuerdo con esta noción general de evolución, *evolución equivale a especiación*, esto es emergencia de organismos cualitativamente nuevos. Como los tipos naturales son colecciones, para la formación de una especie resulta suficiente que haya sólo un individuo nuevo. (Más sobre evolución y especiación en la sección 9.1.)

Aunque las categorías ontológicas de cambio y ascendencia no se aplican a objetos conceptuales como las especies, las nociones de ascendencia, ancestralidad, progenie y linaje pueden de cualquier manera trasladarse a especies de organismos mediante:

DEFINICIÓN 7.6. Designe $\mathcal{S}$ una familia de especies de organismos: $\mathcal{S} = \{\mathcal{S}_i$ denomina una especie de organismos $| \ 1 \leq i \leq n\}$. Entonces, para todo $\mathcal{S}_j$ y $\mathcal{S}_k$ en $\mathcal{S}$,

(i) $\mathcal{S}_k$ *desciende* de $\mathcal{S}_j$ si todo miembro de $\mathcal{S}_k$ desciende (mediata o inmediatamente) de algunos miembros de $\mathcal{S}_j$: $\mathcal{S}_j < \mathcal{S}_k$;

(ii) la *ancestralidad* de $\mathcal{S}_j$ es la colección de especies a partir de las cuales $\mathcal{S}_j$ desciende: $A(\mathcal{S}_j) = \{X \in S \mid X < \mathcal{S}_j\}$;

(iii) la *progenie* de $\mathcal{S}_j$ es la colección de especies que descienden de $\mathcal{S}_j$: $\Pi(\mathcal{S}_j) = \{X \in \mathcal{S} \mid \mathcal{S}_j < X\}$;

(iv) el *linaje* de $\mathcal{S}_j$ es la colección de especies que descienden de $\mathcal{S}_j$ o de las cuales desciende $\mathcal{S}_j$: $\Lambda(\mathcal{S}_j) = \{X \in \mathcal{S} \mid X < \mathcal{S}_j \vee \mathcal{S}_j < X\}$;

En la definición 7.6 la palabra 'especie' podría también remplazarse por 'taxón'. Entonces, estaríamos en condiciones de decir que un taxón *A* desciende de otro taxón *B*. Por ejemplo, podríamos decir que Aves descienden de Reptilia. Sin embargo, esto sólo es posible si los taxones en cuestión son mutuamente disyuntos, tal como Aves y Reptilia en una clasificación evolutiva à la Simpson y Mayr. Es más, uno de los taxones no debe definirse mediante novedades evolutivas únicas. Como en una clasificación cladística todas los taxones se definen consistentemente mediante propiedades concomitantes, esto es, novedades evolutivas, dos taxones mutuamente disyuntos no pueden ser ancestrales entre sí *per definitionem*. Por esto, los ancestros deben buscarse en otra parte.

Taxones y ancestros. Ni el sistemático ni el paleontólogo pueden observar la descendencia de los organismos y biopoblaciones del pasado, ni siquiera de la mayoría de los del presente: véase fig. 7.5. Lo que sí observan, si tienen suerte, son los restos o rastros de organismos pasados y, en la mayoría de los casos, organismos presentes, de un cierto tipo o especie caracterizados por un conjunto de propiedades, ya sean morfológicas, fisiológicas, bioquímicas, conductuales o lo que fuere. Así, la única esperanza para los sistemáticos de reconstruir la ascendencia con modificación es rastrear la ascendencia de las especies.

La manera más conveniente de hacerlo es mediante la representación visual de una clasificación en forma de árbol, como se presentó anteriormente (fig. 7.4b). Al hacerlo, debería recordarse que tal árbol sólo representa una jerarquía de clases anidadas. El primer paso hacia la reconstrucción de la ascendencia común o filogenia es agregar un eje temporal al árbol lógico, donde el tiempo usualmente se grafica en la ordenada. El eje temporal, sin embargo, no es cuantitativo, ya que todo cuanto necesitamos hacer es interpretar la inclusión entre conjuntos y por lo tanto la precedencia de propiedades, en términos de precedencia temporal. El siguiente paso consiste en considerar que cada línea entre dos nodos representa la especie ancestral del conjunto de especies contenidas en el taxón subordinado. Si consideramos un taxón $\mathscr{P}$ que contiene dos subconjuntos $\mathscr{Q}$ y $\mathscr{R}$ de igual rango, entonces habría un conjunto no vacío de organismos $\mathscr{I}_p = \mathscr{P} - (\mathscr{Q} \cup \mathscr{R})$ idéntica a la *especie ancestral* de todas las especies en el taxón $\mathscr{P}$. Claramente, esta suposición va más allá de la clasificación porque, de acuerdo con la condición (8) de los principios de clasificación, $\mathscr{P} = (\mathscr{Q} \cup \mathscr{R})$, por lo tanto $\mathscr{P} - (\mathscr{Q} \cup \mathscr{R}) = \varnothing$. Ésta es la razón por la cual una clasificación (o un cladograma *sensu* Platnick, 1977 y Nelson y Platnick, 1981) no contiene ancestros, y por lo que *no es equivalente* a un árbol filogenético. Como Patricia Williams (1992) ha demostrado, de Hennig (1966) en adelante los cladistas confunden las clasificaciones –jerarquías lógicas de clases anidadas– con árboles filogenéticos –hipótesis sobre especies que descienden unas de otras–, dando origen así a varios problemas, tales como la "realidad" y la "supervivencia" de las especies ancestrales.

Cuando asumimos la existencia de una especie ancestral, todas las ramas que *divergen* de un nodo dado en un árbol filogenético representan la progenie de una sola especie (fig. 7.6). Si, en cualquier momento dado, una especie ancestral aún

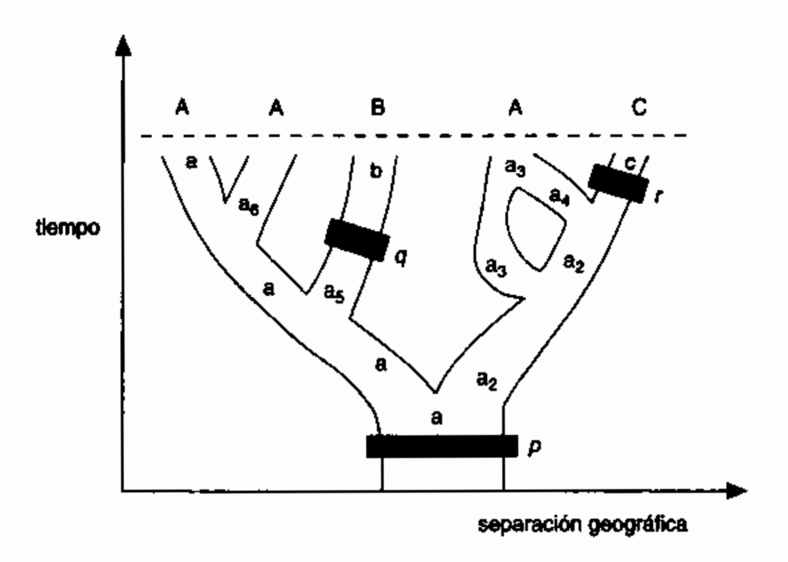


Fig 7.5. Historia de una biopoblación *a* compuesta por organismos de la especie *A* caracterizados por la novedad cualitativa (o autapomorfismo) *p*. La población *a* se escinde en varias poblaciones hijas: a_2, a_3, a_4, (que subsiguientemente vuelve a fundirse con a_3), a_5, y a_6. Los organismos en a_2, así como aquellos en a_5, sufren cambios cualitativos, esto es, especiaciones, al adquirir las novedades evolutivas *q* y *r*, respectivamente. Al fijarse *q* y *r* en las poblaciones respectivas, ahora hay dos nuevas biopoblaciones *b* y *c*, dado que consisten de organismos pertenecientes a las nuevas especies *B* y *C*, respectivamente. (Una *caja gris* indica el período entre la emergencia y la fijación de alguna novedad o novedades en la población). Nótese que en el tiempo marcado por la *línea quebrada*, la especie *A* no se ha extinguido, ya que las poblaciones *a*, a_3, y a_6 aún existen después de las especiaciones de *b* y *c*.

tiene miembros vivientes, entonces podemos representar este caso continuando la línea que representa la especie ancestral hasta el horizonte temporal en consideración (fig. 7.6a). Las líneas que llegan al tiempo en consideración se denominan *terminales* y pueden representar una sola especie o taxón superior. La línea entre dos nodos puede representar no sólo una sola especie, sino también la ancestralidad de la especie ancestral dentro de un taxón dado, esto es, la *línea ancestral* (Ax, 1985). Es decir, hay lugar para interpolar nuevos subconjuntos dentro de un conjunto dado si se descubren nuevos organismos o especies, respectivamente, ya sea pasados o presentes. Cualquier especie ancestral junto con su progenie se denomina *grupo monofilético*, o en forma abreviada, *monophylum* (Ax, 1984.)

Nótense los siguientes puntos. Primero, aun si hablamos de *árbol filogenético* porque contiene ancestros y no sólo taxones anidados, no debe confundirse con un grafo histórico (véase también Bunge, 1987a; P. Williams, 1992.) Un árbol filogenético representa meramente la precedencia temporal de las especies o, en otras palabras, una secuencia de especies sucesivamente descendientes. En particular, las líneas que representan especies ancestrales no deberían confundirse

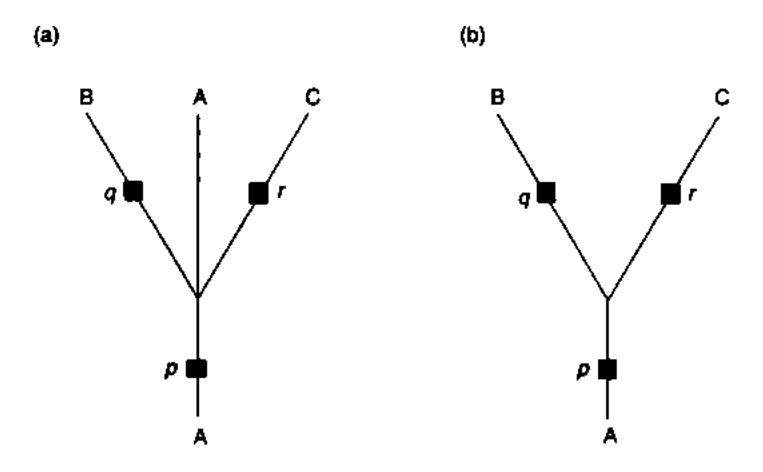


Fig 7.6 a, b. a Árbol filogenético tricótomo representando la descendencia de las especies *B* y *C* a partir de la especie *A*, que todavía cuenta con miembros vivientes. Este árbol es todo cuanto podemos reconstruir de la historia real de las poblaciones representadas en la Fig. 7.5. A diferencia de las cajas grises en la Fig. 7.5, los *cuadrados negros* no indican un período de especiación sino la mera presencia de las propiedades definientes, esto es, la novedad o novedades cualitativas de la especie dada. **b** Apenas la especie *A* se extingue, el árbol tricótomo se reduce a uno dicótomo, y por lo tanto el carácter *p* se considerará un sinapomorfismo de las especies *B* y *C*, cuyo status de especies hermanas ahora es evidente. Sostenemos que la popular creencia cladista de que las especies ancestrales o precursoras necesariamente se extinguen al ocurrir la especiación, se basa en la confusión del principio metodológico de acuerdo con el cual las filogenias deberían resolverse en ramas dicotómicas (que subyace al método de Hennig para la reconstrucción de la filogenia mediante sinapomorfismos), con la suposición ontológica de que la especiación, de hecho, es siempre o predominantemente dicotómica. La situación ilustrada aquí y en la Fig. 7.5 también explica por qué los análisis filogenéticos a niveles de género y especie a menudo no resultan en el deseado árbol prolijamente dicótomo, y en cambio tienden a contener politomías.

con las historias de las biopoblaciones (fig. 7.5). Cada una de tales líneas representa simplemente una clase de organismos.

Segundo, contrariamente a la creencia cladista popular, no se requiere que la ramificación de un nodo sea dicotómica. (Véase también Nelson y Platnick, 1981.) Una especie puede, subsecuentemente, dar origen a muchas especies hijas y aun tener miembros recientes (fig. 7.6a). Sin embargo, como no puede probarse que una ramificación politómica la represente realmente, sino que se deba a la ignorancia, es decir, a la falta de conocimiento de caracteres que permitan un análisis más fino, la búsqueda de ramificaciones dicotómicas o binarias sigue siendo una regla *heurística* de la sistemática. Ya Hennig (1996) lo llamó un *principio metodológico.*

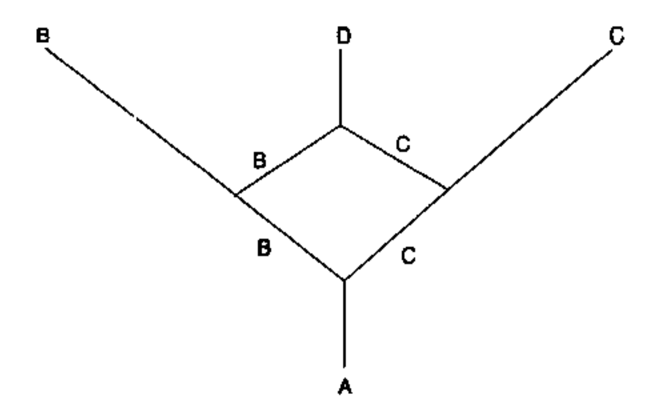


Fig 7.7. Árbol filogenético representando un caso de especiación por hibridación: *B* + *C* Æ *D*; explicación en el texto. Nótese que esta representación asume el caso más simple donde la especie híbrida *D* ha retenido todas las propiedades derivadas de sus especies progenitoras. De hecho, muchas especiaciones por hibridización son mucho más difíciles de discernir, porque una especie híbrida no necesariamente retiene todas las propiedades definientes de sus especies progenitoras.

Tercero, la abscisa de un árbol filogenético no representa el grado de divergencia (de un carácter) -morfológica o de otro tipo- entre especies o taxones: sólo indica especiación. Sin embargo, como la especiación involucra la emergencia de nuevos caracteres, el número de especiaciones entre dos especies cualesquiera en el árbol es posible que indique también divergencia de caracteres, en particular divergencia genética y morfológica.

Cuarto, un problema especial surge en el caso de especiación por hibridación. Ésta (p. ej., $B + C \rightarrow D$) no puede representarse mediante una tricotomía tal como la que se muestra en la fig. 7.6a, según lo sugiere la clasificación, que puede contener tres taxones del mismo rango. La razón es que semejante tricotomía significa que alguna especie ancestral con miembros vivientes dio origen a dos especies hijas. En el caso de la hibridación, sin embargo, dos especies *B* y *C*, posiblemente hijas de una especie ancestral *A*, dieron origen a una especie hija común *D*. Es decir, la especie hija *D* debe representarse como ramificada desde *B* + *C*. Así, dos ramas, *B* y *C*, divergirán inicialmente a partir de un nodo común *A*, pero volverán a converger en un único nodo y rama *D*, indicando que dos especies ancestrales dieron origen a una sola especie hija. Gráficamente, obtenemos así dos líneas desviadas que forman un rombo: véase fig. 7.7. (Más sobre incongruencia de caracteres y cladogramas reticulados, en Nelson, 1983.) Así, no todo nodo de un árbol filogenético representa una especiación.

Sostenemos que el procedimiento taxonómico delineado hasta ahora permite la aproximación más cercana posible a la filogenia real en la naturaleza. No hay manera de llegar a un genuino grafo histórico que represente linajes de organismos o biopoblaciones: compárese nuevamente las figs. 7.5 y 7.6. Ellas también

ilustran por qué las biopoblaciones (sistemas materiales) no deberían confundirse con las especies (clases).

Supuestos evolutivos. Hasta ahora, sólo la hipótesis de descendencia con modificación –la suposición de que todos los organismos se remontan a una única especie ancestral– fue necesaria para guiar nuestra "traducción" de una clasificación a un árbol filogenético. (Véase también Wiley, 1975; Gaffney, 1979.) A su vez, la descendencia con modificación implica que (la mayoría de) los caracteres de los ancestros se encuentran de alguna manera reconstruidos establemente en los descendientes. (Más sobre esto en el capítulo 8.) Sin embargo, no había involucrada ninguna teoría sobre mecanismos evolutivos o genética. Así, el uso de teorías en clasificación se halla hasta ahora bastante limitado. Sostenemos que un refinamiento de la clasificación sería posible cuando además hiciéramos uso de *todo* el conocimiento relevante disponible en biología.

Para respaldar esta afirmación, antes que nada debemos tener presente que el procedimiento básico para formar jerarquías de tipos naturales anidados no es en la práctica tan fácil y directo como puede sugerirlo el esbozo precedente de su lógica y metodología. Esto se debe a que en la realidad nos enfrentamos a varios problemas para encontrar propiedades o relaciones de equivalencia adecuadas para delimitar clases naturales.

Un problema es que debemos tratar con transformaciones de caracteres. Por ejemplo, es importante darse cuenta de que las extremidades de los tetrápodos son aletas modificadas. Si no, podríamos ceder a la tentación de formar dentro de los vertebrados dos clases no superpuestas, a saber, Pisces (peces) y Tetrapoda. Sin embargo, puesto que las aletas evolucionaron a extremidades, éstas son una innovación cualitativa característica de la clase Tetrapoda. Las aletas, por el contrario, son una novedad cualitativa que no caracteriza a los peces sino a los vertebrados (véase también Platnick, 1979). Consideraciones similares corresponden en el caso de reducciones completas de caracteres, tales como la pérdida de extremidades en tetrápodos, por ejemplo, entre serpientes y anfibios cecílidos. Esto plantea el problema de cómo decidir si una transformación de carácter es un ejemplo de complejidad creciente o bien uno de reducción. Otro problema consiste en el hecho de que ciertos caracteres pueden haber evolucionado dos o más veces de manera independiente. En este caso obtenemos conjuntos superpuestos o dos o más clases anidadas alternativas, es decir, incongruentes.

Antes de hacer uso de teorías biológicas, muchos problemas de esta clase pueden eliminarse comparando la congruencia, o incongruencia, de diferentes distribuciones de caracteres (Patterson, 1982.) Las computadoras dieron origen a toda una industria de abastecimiento de métodos y algoritmos para analizar conjuntos de propiedades anidados incongruentes, y hallar la jerarquía de tales conjuntos anidados más congruente o parsimoniosa. (Para una revisión que incluye la literatura, véanse Zandee y Geesink, 1987; Mayr y Ashlock, 1991; así como las publicaciones periódicas *Systematic Biology*, anteriormente *Systematic Zoology*, y *Cladistics*.)

Claramente, tales análisis pueden llevarse a cabo en gran medida numéricamente sin escoger y ponderar propiedades de acuerdo con el conocimiento biológico. Así, no debería sorprendernos que los resultados revistan un interés limitado. Por ejemplo, no debería sorprender que las relaciones filogenéticas de los tiburones martillo resulten en más de 30 000 árboles igualmente parsimoniosos (Naylor, 1992). Aunque el número de árboles podría restringirse más mediante ponderaciones de caracteres y diferentes algoritmos, la lección que surge de casos como éste resulta obvia: la parsimonia sólo puede ser una suposición heurística para comenzar, porque no hay razones para creer que la naturaleza (y en particular la evolución) sea realmente parsimoniosa (Bunge, 1963; Nelson y Platnick, 1981). Las reglas heurísticas de parsimonia en sistemática pueden formularse así: "Comenzar con la suposición de que un carácter ha evolucionado sólo una vez en una especie ancestral", o "Privilegiar –hasta nuevo aviso– el árbol que suponga el número más pequeño de eventos evolutivos". (Para algunos de los problemas de la sistemática por computadora véase Wägele, 1994.)

Cualquier desvío de estas reglas debe justificarse con nuevos conocimientos. Tal conocimiento extrasistemático, esto es, la totalidad de la teoría biológica, puede ayudar a refinar una clasificación cruda (es decir, preteórica) en el análisis de caracteres. Cualquier conocimiento de procesos y mecanismos evolutivos, adaptativos, ecológicos, genéticos y de desarrollo debería ser bienvenido para ayudar al análisis de los caracteres. De esta manera, el conocimiento teórico puede ayudar no sólo a encontrar rasgos más adecuados para la clasificación, sino también a elegir alternativas entre hipótesis filogenéticas (o bien, árboles). Por ejemplo, puede resultar que un árbol menos parsimonioso es más verdadero que uno parsimonioso porque se apoya en un escenario adaptativo más plausible, que a su vez está a tono con el conocimiento ecológico.

Lamentablemente, la determinación de algunos de tales escenarios indica que su utilidad para el análisis filogenético aún no ha sido efectivamente demostrada. Esto es porque muchos de tales escenarios, particularmente teorías bien confirmadas, sólo proponen desarrollos históricos más o menos plausibles, pero no se basan en el conocimiento de los procesos evolutivos subyacentes (Cracraft, 1981). Es más, aunque los supuestos adaptacionistas siguen siendo heurísticamente fructíferos, no todos los rasgos y cambios evolutivos necesariamente son adaptativos (Simpson, 1953; Gould y Lewontin, 1979).

Concluimos que, mientras que la sistemática no presupone lógicamente –*pace* Bock (1981)– ningún conocimiento de los mecanismos evolutivos o de cualquier otra teoría biológica, tal conocimiento puede y debería contribuir a refinar la clasificación. El conocimiento profundo sólo puede alcanzarse teorizando. Para usar la feliz frase de Hennig, clasificación y teoría ganan una de la otra mediante la *iluminación recíproca*. (Véase también Hull, 1979.) Sin embargo, subrayamos que cualquier teoría extrasistemática no entra a la clasificación para convertirse en parte de ella. Las teorías sólo nos ayudan a hallar, analizar y evaluar caracteres adecuados para la clasificación. Sin embargo, si no es una teoría, ¿qué es exactamente una clasificación?

7.2.2.5 Estatus lógico y metodológico de las clasificaciones

Cuando los principios de la clasificación, como se esbozan en la sección precedente, se aplican de manera apropiada, se llega a un sistema de *definiciones* anidadas de clases, o más precisamente taxones. El siguiente ejemplo (cladista) ilustra la estructura básica de una clasificación. (Recuérdense también las observaciones a la condición (4) en la sección 7.2.2.2.)

Designe $\mathcal{A}$ la clase amniotas, M una conjunción de predicados referentes a novedades cualitativas, tales como "poseer pelos", "poseer glándulas mamarias", "poseer una articulación escamoso-dentaria", "poseer cráneo sinápsido", etc., t un instante de tiempo y D la relación de descendencia. Entonces el taxón Mamíferos (Recientes), o $\mathcal{M}$ de manera abreviada, se define como $\mathcal{M} = \{x \in A \mid (\exists t)(\exists y)(Mxt \vee [Dxy \,\&\, y \in \mathcal{A} \,\&\, Myt])\}$. Dentro de la clase $\mathcal{M}$ podemos definir ahora el taxón Theria, es decir, los mamíferos vivíparos, como $\Theta = \{x \in \mathcal{M} \mid (\exists t)(\exists y)\ (Vxt \vee [Dxy \,\&\, y \in \mathcal{M} \,\&\, Vyt])\}$, donde V designa la conjunción de los predicados relevantes, tales como "vivíparo". Incluso definimos la clase Monotremata o Prototheria (esto es, los llamados mamíferos que ponen huevos) como $\mathcal{P} = \{x \in \mathcal{M} \mid (\exists t)(\exists y)\ (Ext \vee [Dxy \,\&\, y \in \mathcal{M} \,\&\, Eyt])\}$, donde E designa la conjunción de predicados relevantes, tales como "poseer órganos sensoriales eléctricos" y "siendo macho, poseer una glándula venenosa en las patas traseras". (Nótese que el rasgo "poner huevos" es uno de los caracteres definientes de la clase Amniota, de manera que no puede ser usado para definir el taxón $\mathcal{P}$. Para detalles morfológicos y sistemáticos véase Ax, 1995.) De acuerdo con los principios de la clasificación $\mathcal{M} = \Theta \cup \mathcal{P}$ y $\Theta \cap \mathcal{P} = \varnothing$. Más aún, por definición tenemos $\Theta \subset \mathcal{M}$, es decir que Theria $\subset$ Mammalia y $\mathcal{P} \subset \mathcal{M}$, o sea: Monotremata $\subset$ Mammalia.

El ejemplo precedente ilustra la tesis de que una clasificación es un sistema de definiciones de taxones anidadas. Como las definiciones son convenciones (sección 3.5.7.1), las clasificaciones también son convenciones, y por lo tanto no son ni verdaderas ni falsas. Sin embargo, con unas pocas excepciones, tales como Ruse (1973), la mayoría de los autores ha sostenido que las clasificaciones son teorías o al menos cuasiteorías (p. ej., Løvtrup, 1973, 1974; Bock, 1974; Brady, 1979; Nelson y Platnick, 1981; Bunge, 1983a; Suppe, 1989; Mayr y Ashlock, 1991). Esta última posición es usualmente defendida con argumentos como el siguiente. Las clasificaciones científicas tienen un contenido fáctico. Involucran operaciones empíricas tales como la observación y a veces la medición. Es más, sobre la fuerza de nuevas observaciones e hipótesis, las clasificaciones son a menudo "corregidas" y en consecuencia "mejoradas". Por último, pero no por ello menos importante, se dice que las clasificaciones tienen poder explicativo, predictivo o ambos.

En realidad, a diferencia de las clasificaciones formales (por ejemplo, $\mathbb{N} \subset \mathbb{Z} \subset \mathbb{Q} \subset \mathbb{R} \subset \mathbb{C}$), las clasificaciones científicas tratan acerca de objetos materiales y por lo tanto incluyen operaciones empíricas. Sin embargo, estas operaciones no tienen el estatus formal de clasificaciones. Si bien las cosas concretas se presentan como tipos naturales, hay que recordar que los tipos son clases y no cosas. Asi los

tipos sólo pueden definirse, no describirse. Sólo sus miembros individuales pueden describirse.

De hecho, como la definición de los tipos naturales (en vez de los artificiales) involucra propiedades legalmente relacionadas, y la representación apropiada de las leyes involucra teorías (definición 3.9), es verdad que la clasificación científica involucra la teorización. En particular, involucra el conocimiento de hipótesis sobre morfología comparada y homología. Sin embargo, del hecho de que las clasificaciones científicas pueden ser alteradas sobre la base de una teoría científica y de observaciones hechas a la luz de esa teoría, no se sigue que la clasificación misma –como objeto formal– sea una teoría. Sólo implica que una clasificación científica se respalda en una teoría científica, mientras que una ordinaria o no científica no se basa en tal teoría. Por lo tanto, podríamos decir que una clasificación *natural* o *no arbitraria* o *científica* está respaldada por una teoría científica razonablemente verdadera, mientras que una *artificial* o *arbitraria* o *no científica* se basa en una teoría falsa, o simplemente carece de fundamentación teórica (véase también Löther 1972).

A partir de lo que se acaba de exponer, resultará obvio cuán fácil es confundir clasificación y teoría. Esta tentación se nutre del hecho de que las inferencias respecto de la inclusión de ciertos taxones, que en la clasificación valen por definición, pueden transferirse fácilmente a una teoría. Por ejemplo, aunque en una clasificación los mamíferos vivíparos son mamíferos *por definición*, el enunciado "Todos los terios son mamíferos" puede funcionar como *hipótesis* en una teoría sobre la filogenia de los mamíferos. (Recuérdese de la sección 3.5.7.1 que lo que funciona como definición en un contexto puede funcionar como hipótesis en otro, y viceversa.) Esto vale en particular para las clasificaciones cladistas, que se supone son "traducibles" o "convertibles" a un árbol filogenético. Un árbol filogenético, sin embargo, es claramente una teoría, no un sistema de definiciones de taxones. Por ejemplo, el enunciado "todos los mamíferos se remontan a una sola especie ancestral" es una hipótesis que no aparece en ninguna clasificación.

La confusión de una clasificación con las teorías que "interactúan" con ella también subyace a la suposición de que las clasificaciones tienen poder explicativo. Por ejemplo, la afirmación de que los peces, anfibios, reptiles, aves y mamíferos son vertebrados parece explicar (fenomenológicamente) la similitud entre estos animales, pero sólo porque algunas de sus propiedades en común fueron usadas para formar el taxón Vertebrata en primer lugar. Por eso este aparente caso de subsunción, no de explicación, es tautológico (recuérdese sección 3.6.1.2). Una genuina subsunción de las similitudes entre vertebrados sólo puede ser provista por una teoría filogenética; y una explicación genuina, es decir mecanísmica de las similitudes entre vertebrados sólo puede ser provista por la teoría evolutiva (incluyendo una teoría del desarrollo), no por clasificación alguna.

Por la misma razón, una clasificación propiamente dicha no tiene ningún poder predictivo interesante. El biólogo puede creer que las clasificaciones tienen poder predictivo relevante porque algunas veces le permiten inferir datos "desconocidos" sobre la distribución de caracteres. Por ejemplo, cuando el biólogo identifica un

arácnido hembra recién descubierto como una araña porque tiene hilanderas, puede inferir que su macho aún desconocido tiene pedipalpos modificados para la transferencia de esperma (Platnick, 1994, *in litt.*) Sin embargo, desde un punto de vista metodológico, éste no es un caso interesante de predicción (recuérdese sección 3.6.2) porque lo que puede inferirse en tales casos sólo es lo ya contenido en la definición del taxón en cuestión. En otras palabras, si se halla una araña de nueva especie sólo puede "predecirse" lo que ya se conoce sobre arañas en el taxón dado. No se pueden predecir rasgos realmente nuevos. Así, no se puede predecir la reducción o pérdida completa de cualquier carácter taxón-específico, ni la presencia de ningún carácter derivado aún desconocido de este taxón.

Ejemplos de predicciones debidas a las teorías subyacentes de la evolución y la filogenia, no de la clasificación propiamente dicha, son los retrognósticos de eslabones perdidos o "taxones de transición". Por ejemplo, los filogenetistas y los paleontólogos han inferido a menudo que como la evolución es (más o menos) gradual, puede esperarse que una laguna en el registro fósil de un cierto taxón sea salvada por algún eslabón perdido o taxón de transición. Sin embargo, todas las premisas de esta retrodicción pertenecen a las teorías evolutiva, filogenética y paleontológica, no a la clasificación. Una clasificación se vuelve imperfecta o insatisfactoria sólo a la luz de alguna teoría, y es sólo en combinación con alguna teoría que adquiere genuino poder explicativo o predictivo.

Para concluir, las clasificaciones son sistemas de definiciones de taxones, por lo tanto convenciones. No deberían confundirse con las teorías empleadas para concebir y refinar la clasificación. Las clasificaciones científicas, sin embargo, deben respaldarse en una o más teorías científicas razonablemente verdaderas. En realidad, la clasificación y la teorización son actividades científicas mutuamente complementarias. Aún así, resulta importante notar que la categorización precede lógicamente a la teorización aunque sólo sea porque toda teoría es acerca de alguna categoría de objetos. A su vez, la teoría permite refinar las clasificaciones preteóricas. Por ejemplo, una clasificación biológica precede lógicamente a una hipótesis filogenética (p. ej., un árbol filogenético), pero la clasificación puede refinarse a la luz de la teoría filogenética si hay evidencia en favor del árbol filogenético que no contenga la clasificación. De esta manera, la afirmación de que una clasificación biológica debe estar "basada en la filogenia" es errónea si se entiende como afirmación de la prioridad lógica de la hipótesis filogenética sobre la clasificación; pero es correcta si se la entiende en el sentido, más débil, de que una clasificación biológica puede y debería refinarse a la luz del conocimiento filogenético.

7.2.2.6 Taxonomía, clasificación, sistemática

Ahora nos abocaremos a examinar las diferencias, si las hay, entre los significados de los términos 'taxonomía', 'clasificación' y 'sistemática'. Mientras muchos autores usan estos términos de manera indistinta, otros han intentado distinguir algunos de ellos, o todos (p. ej., Simpson, 1961; Griffiths, 1974; Solbrig y Solbrig, 1979; Wiley, 1981; Ax, 1984, 1988, 1995; Bunge, 1985b; de Queiroz, 1988; Mayr

y Ashlock, 1991). Una primera distinción útil es, ciertamente, que estos términos pueden denotar una disciplina científica, la actividad de los científicos en esa disciplina y el resultado de esta actividad (de Queiroz, 1988). Desde un punto de vista epistemológico e histórico, la *actividad* básica y más antigua es *clasificar* objetos, es decir, la clasificación. En verdad, esta actividad no presupone principalmente conocimiento científico alguno. Si no, la clasificación –tanto la actividad como su resultado– puede ser en gran medida arbitraria, artificial, antropocéntrica o superficial, en vez de objetiva, realista y profunda. (Véase, sin embargo, Berlin, 1992.) Una clasificación profunda y realista se obtiene sólo con la ayuda del conocimiento científico. En biología comprende la totalidad de la biología comparativa (Nelson, 1970). Así, hay una gran distancia entre los cuatro elementos de la Antigüedad y los elementos de la química moderna. Lo mismo vale para la clasificación biológica desde los seres humanos antiguos, pasando por Aristóteles y Linneo, hasta la moderna clasificación filogenética.

Como el resultado de una clasificación científica es un *sistema conceptual*, esto es, un sistema de definiciones anidadas con unidad referencial, resulta posible denominar *sistemática* a esta disciplina científica, y *sistematización* a la actividad de investigación subyacente. Sin embargo, una clasificación moderna o un sistema basado en el conocimiento científico aún es una clasificación. Al mismo tiempo, es un resultado de un proceso de clasificación. En otras palabras, toda sistematización es una clasificación, pero no toda clasificación es sistemática. Al proponer este uso rechazamos la razón dada por los neonominalistas acerca de por qué la clasificación biológica debería llamarse 'sistemática': porque los taxones serían sistemas concretos en vez de clases (Griffiths, 1974; de Queiroz, 1988; de Queiroz y Donoghue, 1988). Los taxones *son* clases, aunque por cierto no arbitrarias sino naturales. También rechazamos una concepción formalista estrecha de la clasificación, esto es, nombrar taxones, asignarles un rango categórico y publicar este arreglo en forma escrita. Éste es sólo el último paso en una clasificación.

El término 'taxonomía' ha sido usado mayoritariamente para denotar la disciplina científica de la clasificación, así como el resultado de la actividad de la clasificación. Como ya tenemos los términos 'clasificación', 'sistema' y 'sistemática' a nuestra disposición para estos propósitos, el término 'taxonomía' es redundante. Por lo tanto adoptamos la propuesta de Simpson (1961), que empero no ha ganado amplia utilización, de considerar la *taxonomía* como el estudio teórico de los principios y reglas (lógicos y metodológicos) de la clasificación y la sistemática, esto es como una *metaclasificación*. (Resulta interesante que Simpson no haya usado consistentemente el término 'taxonomía' tal como él mismo lo definió.) Esto coincide con lo que Gregg (1954) llamó 'taxonomía metodológica'. Debido a su naturaleza teórica, la taxonomía (metodológica) o metaclasificación a veces se denomina 'teoría de la clasificación' o 'teoría de la sistemática'. Rechazamos este uso porque reservamos el término 'teoría' para designar un sistema hipotético-deductivo, que ni es una disciplina ni un conjunto de reglas para producir una clasificación.

La *filosofía de la taxonomía* o *metataxonomía* es, entonces, el sistema conceptual

o disciplina que ofrece el trasfondo ontológico, epistemológico, semántico y lógico para la taxonomía. Por ejemplo, las preguntas "¿Qué tipo de entidad es un taxón: clase o individuo?" o "¿Cuál es el estatus lógico y metodológico de una clasificación: convención o teoría?" pertenecen a la filosofía de la taxonomía.

7.2.2.7 Tres taxonomías: cladista, evolutiva y fenética

Taxonomía cladista. Los sistemáticos habrán notado que la taxonomía bosquejada en la sección precedente admite cierta semejanza con lo que se ha dado en llamar *cladismo transformado* o *de patrones* (véase, p. ej., Platnick, 1979, 1985; Nelson y Platnick, 1981; Patterson, 1982). Sin embargo, nuestra taxonomía ha sido desarrollada independientemente, dado que fluye naturalmente de nuestra ontología. Es más, se basa en razones lógicas y ontológicas, mientras que el cladismo de patrones tradicional parece inspirarse en el empirismo y el falsacionismo. En cualquier caso, nuestra versión no es otra "transformación" del cladismo, ni siquiera del cladismo transformado. Aún así, es una taxonomía esencialmente cladista, esto es, que apunta a producir consistentemente clases anidadas de organismos que se definen exclusivamente mediante novedades evolutivas. Como los taxones de la clasificación cladista se definen mediante propiedades legalmente relacionadas, son –*pace* Wiley, 1989– ejemplos de tipos biológicos *sensu lato*.

En lo que respecta al rótulo 'cladismo de patrones' (Beatty, 1982), se debe al principio de sus adherentes según el cual la tarea del sistemático consiste en revelar un patrón de caracteres en la naturaleza, a partir de los cuales la filogenia pueda reconstruirse o inferirse, si uno está inclinado a ello. Ninguna consideración evolutiva *a priori* –esto es, supuestos sobre los procesos que resultan en dicho patrón– debería entrar en la actividad del sistemático, porque entonces se correría el riesgo de que el procedimiento se volviera circular. Sólo si un patrón observado, es decir, una clasificación, se obtiene independientemente de la teoría de la evolución, así como de los datos paleontológicos, sería posible poner a prueba hipótesis evolutivas por medio de dicho patrón. Esta propuesta, que parece inspirada por una perspectiva empirista y por el falsacionismo popperiano, resultó en lo que se conoce como la *controversia patrón-proceso* (p. ej., Brady, 1985; Rieppel, 1988).

Como nuestra concepción acerca de la relación entre clasificación y teoría ya ha sido expuesta en la sección precedente, agregaremos sólo algunos comentarios. Primero, resulta interesante notar que los principios del cladismo de patrones han sido ampliamente mal entendidos o mal representados (p. ej., Beatty, 1982; Charig, 1982; Leroux, 1993). Como muestra, si entendemos correctamente los escritos de los cladistas de patrón, no se niega ni que el cladismo presupone que los agrupamientos naturales son posibles, ni que el conocimiento de datos estratigráficos y biogeográficos, así como de teorías sobre mecanismos evolutivos, puedan refinar a la sistemática (Platnick, 1985). En lo que se hace hincapié es en la independencia lógica y metodológica de la sistemática de teorías *mecanísmicas* en particular. (Véase también Ax, 1988.) Sin embargo, en la práctica el sistemáti-

co usualmente no se preocupa mucho por la lógica o la metodología, sino que procede de acuerdo con ciertas reglas y produce una clasificación al aplicar simultáneamente el análisis de patrones y los supuestos evolutivos y adaptativos. Empieza claramente a clasificar *sub specie evolutionis*, un procedimiento totalmente legítimo. (Véase también Hull, 1979.) En cambio, el descuido de la lógica de la clasificación puede llevar a aseveraciones tan ingenuas como que primero deberíamos analizar las relaciones filogenéticas y luego convertir un árbol filogenético en una clasificación o, peor aún, que ambos serían representaciones equivalentes del mismo sistema conceptual.

Las preocupaciones acerca de la puesta a prueba de hipótesis evolutivas mediante patrones sistemáticos no tienen sustento, porque ya no tenemos que probar la hipótesis de que la evolución ha ocurrido, como era el caso cuando Darwin trató de establecer su hipótesis de la descendencia con modificación en primer lugar. Hoy tenemos que demandar que la clasificación y la teorización vayan de la mano, porque la ciencia se caracteriza por un proceso de retroalimentación de sucesivas aproximaciones a los hechos. Este proceso de retroalimentación no es un caso de circularidad sino una marca de la ciencia. Finalmente, como se mostró en el análisis de los principios de la clasificación, la preferencia de los principios cladistas de clasificación en vez de las reglas convencionales de clasificación por partición pueden entenderse sólo presuponiendo la hipótesis de descendencia (común) con modificación y la evolución de novedades cualitativas. En otras palabras, contrariamente a la perspectiva empirista de algunos cladistas de patrón, el patrón sistemático observado no se halla libre de teoría, ya que fue producido mediante reglas de clasificación cladísticas, en vez de alternativas. (Como es usual, el empirismo demuestra ser ingenuo o erróneo.)

Para concluir, a pesar de ciertas diferencias taxonómicas y metataxonómicas entre el cladismo de patrón y el cladismo tradicional de Hennig, sostenemos que ambos pueden reconciliarse si se reconstruyen a la luz de nuestra filosofía de la taxonomía, tal como se esbozó anteriormente. En todo caso, el cladismo de patrón y la sistemática filogenética arrojan virtualmente los mismos resultados en la práctica. (Para el cladismo tradicional, véase Hennig, 1966; Wiley, 1981; Ax, 1984, 1988, 1995; Sudhaus y Rehfeld, 1992. Para una historia de las ideas pre o cuasicladistas, véase Craw, 1992. Para el desarrollo del cladismo en relación con las demás escuelas de la taxonomía, incluyendo chismes divertidos en abundancia, véase Hull, 1988.)

Taxonomía evolutiva. Ciertamente, los más famosos representantes de la taxonomía tradicional o evolutiva son George Gaylord Simpson y Ernst Mayr (Simpson, 1961; Mayr, 1974, 1982, 1995; Mayr y Ashlock, 1991; véase también Bock, 1974). La principal diferencia entre los taxónomos cladistas y los evolutivos reside en el énfasis de los últimos en la diferencia anagenética, es decir, en el reconocimiento de los llamados *grados*. Por ejemplo, aunque los gorilas y los chimpancés se encuentran relacionados genealógicamente, más próximamente con los humanos que con los orangutanes, la gran laguna anagenética, es decir, morfológica, con-

ductual y particularmente intelectual entre los simios y los seres humanos justificaría colocar a los primeros en la familia Pongidae y a los últimos en la familia separada Hominidae. Así, la similitud total morfológica, ecológica y supuestamente genética (o genotípica) –que constituyen un grado– tiene prioridad sobre la relación filogenética –que constituye un clado. En otras palabras, en taxonomía evolutiva los primos pueden estar relacionados más cercanamente que los hermanos si los primeros son más parecidos entre sí que los últimos. (Esta crítica aún no es apropiadamente entendida por algunos taxónomos evolutivos: véase la correspondencia entre Mayr, 1994 y Mahner, 1994b).

Los taxónomos evolutivos quieren así establecer una diferencia entre el *análisis* filogenético o cladista, por un lado, y el ordenamiento final o *clasificación*, por otro (Mayr 1974, 1995.) De acuerdo con ellos, el primero consiste en un análisis de los caracteres relevantes de un conjunto dado de organismos o especies, que revela sus relaciones filogenéticas, mientras que el segundo consiste en el ordenamiento de las especies dadas en un sistema o clasificación. Esta idea implica que los resultados del análisis de carácter anterior pueden o no entrar en la clasificación final. Así, el corte del árbol filogenético en clases y rangos depende del sistemático. Así, no debería sorprender la fuerte posibilidad de que diferentes sistemáticos produzcan diferentes clasificaciones.

Para ejemplificar la arbitrariedad de este procedimiento, usamos otro ejemplo notorio de disputa taxonómica: la clasificación de reptiles y aves. En este caso, el cladista puede clasificar como sigue (Ax, 1984): Sauropsida = (Squamata [serpientes, lagartos, anfisbénidos] ∪ Rhynchocephalia) ∪ Chelonia [tortugas] ∪ (Crocodylia ∪ Aves).) Sin embargo, después de haber estado de acuerdo en que esta clasificación arroja una hipótesis plausible de relaciones filogenéticas si se convierte en un árbol filogenético, es muy posible que el sistemático evolutivo agrupe así: Sauropsida = Reptilia ∪ Aves. La razón para esta clasificación es que los reptiles son mucho más semejantes entre sí que a las aves, y forman un grado, es decir, un "nivel morfológico" conspicuo que ocupa una zona adaptativa en particular (Mayr y Ashlock 1991.)

Esta propuesta queda abierta a las siguientes objeciones. Antes que nada, el análisis cladista *es* clasificación porque las propiedades (es decir, las novedades evolutivas) usadas en un análisis cladista funcionan como relaciones de equivalencia que definen clases. Por ejemplo, exhibir las novedades evolutivas compartidas por crocodilianos y aves es *definir* la clase Crocodylia ∪ Aves, ya sea que se le denomine o no 'Archosauria'. Después de todo, debería resultar claro que sólo después de haberse llevado a cabo esta clasificación es posible hipotetizar una especie ancestral común. En consecuencia, desestimar esta clasificación en favor de otra equivale a clasificar según principios completamente diferentes y según distintas relaciones de equivalencia. Afirmar que el análisis cladístico y la clasificación son empresas diferentes y separables es patentemente inconsistente. No puede haber compromiso entre una clasificación que corresponde a una jerarquía consistente de tipos anidados y una clasificación que corta a través de estos tipos anidados allí donde parece apropiado por razones subjetivas. (Para más críticas, véase Wiley, 1981.)

Así, la clase Reptilia no es sino el complemento de la clase Aves dentro de la clase Sauropsida: no se caracteriza por ninguna novedad cualitativa sino sólo por una similitud general. (Los cladistas llaman a tales clases complementarias *grupos parafiléticos* porque no contienen a todos los descendientes de una especie ancestral dada.) En cambio, la clase linneana Pisces (peces), o sea, el complemento de Tetrapoda dentro de Vertebrata, es usualmente rechazada por los sistemáticos evolutivos que reconocen al menos dos clases de peces, a saber: Chondrichthyes (peces cartilaginosos) y Osteichthyes (peces óseos.) ¿Por qué? Porque es de alguna manera más "natural" hacerlo así en términos de ciertas similitudes. El cladista está de acuerdo, pero insiste en que sería aún más natural abandonar no sólo Pisces sino Osteichthyes porque puede demostrarse que éstos también son parafiléticos. Obviamente, entonces, la clasificación de los sistemáticos evolutivos retiene elementos de arbitrariedad: queda a discreción del sistemático y no según un método consistente, qué grupos se forman y retienen y cuáles no. (Véase también Sober, 1993.) Así, algunos taxones se forman de acuerdo con los principios cladistas, mientras que otros se forman porque corresponden a un agrupamiento regido por el sentido común. En vez de intentar eliminar esta arbitrariedad precientífica –eufemismo de Simpson: el elemento de *arte* en la sistemática– es algo que se celebra como una virtud, ya que ciertos grupos como los reptiles podrían ser reconocidos inmediatamente, incluso por no científicos (Mayr y Ashlock, 1991:263.) Siguiendo el mismo razonamiento, se podría defender la física aristotélica en contra de la newtoniana o la cuántica, porque la primera es más intuitiva y accesible al lego.

Esto no significa negar la legitimidad de diferentes clasificaciones de organismos. Después de todo, las clasificaciones son convenciones, y por lo tanto ni verdaderas ni falsas. Es perfectamente legítimo (para el aficionado) clasificar a los organismos en "Edibilia" e "Inedibilia". Como se explicó en la sección 7.2.2.1, es posible partir una colección de ítems dada de acuerdo con diferentes relaciones de equivalencia. Para usar nuevamente un ejemplo anterior, en sistemática evolutiva el taxón Vertebrata resulta partido en siete clases del mismo rango: Agnatha, Chondrichthyes, Osteichthyes, Amphibia, Reptilia, Aves y Mammalia. Pero ésta no es una partición propiamente dicha porque no hay ninguna relación de equivalencia subyacente de acuerdo con la cual la colección de los vertebrados resulte partida. En el mejor de los casos, hay una relación de similitud total, que quizá se lee "algo más parecido entre sí que a cualquier otro organismo". Lo que pasa es que las especies *similares* se reúnen en un género, los géneros *similares* en una familia, las familias *similares* en un orden, y así sucesivamente. Este procedimiento ha sido denominado 'clasificación ascendente' (Mayr, 1982, 1995) en oposición a la 'clasificación descendente' o partición dicotómica. Ésta claramente satisface en lo formal los principios de la clasificación establecidos en la sección 7.2.2.2, pero no se lleva a cabo mediante la partición de una colección con ayuda de un conjunto de relaciones de equivalencia de diferente fuerza. Más bien, la clasificación es en gran medida intuitiva, por lo tanto precientífica. Por lo tanto, resulta cuestionable si la condición (4)

resulta satisfecha, porque las equivalencias precisas en cuestión, si las hay, nunca son explícitas.

Concluimos que la taxonomía evolutiva ocupa una posición de transición entre la taxonomía linneana y la cladista -*pace* Bunge (1987a) y Leroux (1993). No es una taxonomía preteórica, aunque aún contiene resabios de arbitrariedad; esto es, no se esfuerza en pos de clases máximamente naturales. Por esta razón, debe considerarse una taxonomía semicientífica, cuyos días, de cualquier manera, parecen estar contados. No debe sorprender, entonces, que la defensa de la taxonomía evolutiva contra el progreso triunfante del cladismo sea evidentemente mucho más desesperada que sustancial en estos días: véase particularmente Mayr y Ashlock (1991.) Es más, como la taxonomía evolutiva no reconoce consistentemente las novedades evolutivas sino también contiene residuos fenéticos (p. ej., acepta complementos definidos por atributos negativos, es decir, por no propiedades), resulta peculiar que sus adherentes la llamen siquiera *evolutiva*.

Taxonomía fenética. La taxonomía fenética, o abreviadamente *fenética*, es un brote del operacionismo: una taxonomía estrictamente empirista. (La fenética nació bajo el nombre *taxonomía numérica*; pero este nombre es engañoso porque cualquier sistemática puede implementarse mediante métodos numéricos. El punto saliente es la perspectiva fenética, no numérica, de esta taxonomía. Véase Mayr, 1982; Platnick, 1989.) La fenética se originó a fines de los años cincuenta junto con el ascenso de las computadoras (véanse, p. ej., Sokal y Sneath, 1963; Sneath y Sokal, 1973). La principal meta epistemológica de la fenética consistía en lograr una clasificación objetiva y repetible. Mediante la observación de tantos caracteres como fuera posible, y asignándoles la misma ponderación, se tenía la esperanza de llegar a una medida objetiva de su *similitud general*.

No es ningún secreto que la fenética numérica ha sido un fracaso (Hull, 1970; Löther, 1972; Ruse, 1973; Wiley, 1981; Mayr, 1982; Bunge, 1985b; Rosenberg, 1985; Suppe, 1989; Mayr y Ashlock, 1991; Sudhaus y Rehfeld, 1992; Leroux, 1993; Sober, 1993). Sin embargo, aún sobrevive entre algunos taxónomos adictos al empirismo y a la sistemática por computadora. El principal problema con la fenética no es tanto que su filosofía -empirismo más operacionismo- sea errónea (véase, en particular, Hull, 1970). En rigor, no puede negarse que es posible clasificar a los organismos de acuerdo con su similitud total. La cuestión es si semejante clasificación es o no científicamente útil.

¿Cómo le va a la fenética en este aspecto? Antes que nada, aunque los feneticistas estiman los valores científicos de objetividad y respetabilidad, todos los críticos concuerdan en que no pueden alcanzar este objetivo, porque sus clasificaciones dependen no sólo de los rasgos que han de ser elegidos por el investigador sino también del método que éste elija para procesarlos. (Objeciones similares pueden esgrimirse contra la presunta objetividad del cladismo por computadora: véase Wägele, 1994.) ¿Qué grado de similitud es mínimamente necesario para poner dos objetos en el mismo taxón? Por ejemplo, son los números 1.4 (racional) y $\sqrt{2}$ (irracional) suficientemente semejantes como para agruparlos juntos? Se-

gundo, agrupar mediante meras similitudes en vez de equivalencias correspondientes a propiedades sustanciales conducirá a cualquier parte menos a clases naturales anidadas. Los tipos naturales pueden ocurrir sólo por accidente. Así, al no interesarse en las relaciones legales, una clasificación fenética no puede considerarse científica: es una clasificación manifiestamente ateórica. Tercero, como se supone que una clasificación fenética es ateórica, aunque de hecho no esté libre de supuestos extrataxonómicos, no hay oportunidad de refinarla con ayuda de teorías biológicas porque entonces ya no sería una clasificación fenética. Su refinamiento sólo podría consistir en convertirla en un cladograma mediante principios cladísticos. Sin embargo, el cladista no necesita una clasificación fenética para empezar. Cuarto, por esta razón apenas si la fenética produjo algún resultado científicamente interesante o útil (Rosenberg, 1985.) El único uso para una clasificación fenética parece darse en casos donde encontramos un gran número de especies muy similares que *prima facie* carecen de caracteres significativos adecuados para una clasificación directamente cladista o evolutiva. Un muestreo fenético puede entonces servir como punto de partida para un análisis más detenido (Mayr y Ashlock, 1991). Sin embargo, esto ya agota el uso científico de la fenética. En resumen: *requiescat in pace*.

7.3 BIONOMINALISMO

Después de haber expuesto nuestra filosofía conceptualista de la taxonomía y mostrado que armoniza fácilmente con una perspectiva evolutiva, procedemos con un examen de la filosofía de la taxonomía actualmente dominante: el neonominalismo o bionominalismo. Como éste ha sido considerado uno de los pocos tópicos en filosofía de la biología en los que "algo parecido a un consenso comienza a emerger" (Sterelny, 1995:156), y como siempre es difícil persuadir a los creyentes de que la ortodoxia reinante es errónea, valdrá la pena examinar al bionominalismo en algún detalle. Para hacerlo, primero estudiaremos el bionominalismo débil y luego el fuerte.

7.3.1 *Bionominalismo débil*

El problema de la especie ha rondado a los biólogos desde la revolución darwiniana. La principal razón de este problema filosófico fue evidente desde el principio: si la evolución ocurrió y aún ocurre, y si la evolución es evolución de las especies, entonces las especies no pueden ser tipos esencialistas constantes e inmutables, sino entidades mutables (Haeckel, 1866; Hull, 1965; Thompson, 1989). En cambio, subsistía el problema de cómo hacer sistemática, o sea, cómo es posible clasificar a los organismos si no se les puede poner en clases. Así, los requisitos de la clasificación y la teoría de la evolución parecían ser mutuamente excluyentes. El bionominalismo parece proveer una solución a este problema.

El primer paso de influencia hacia el bionominalismo fue dado por los fundadores de la llamada Nueva Sistemática, es decir, Rensch, Huxley, Mayr y Dobzhansky. El principio básico era que las especies biológicas serían poblaciones de organismos o, más precisamente, comunidades reproductivas también llamadas 'bioespecies' (Mayr, 1963, 1982). Aunque la noción de bioespecie como comunidad reproductiva es muy anterior (para una breve historia véase Grant, 1994), esta interpretación ganó amplia aceptación porque se ajustaba de manera atractiva a la genética de poblaciones, y por ende a la teoría sintética. La doctrina "biopoblación equivale a bioespecie" aún puede encontrarse en los libros de texto actuales, aunque desde su concepción inicial el concepto de bioespecie ha venido sufriendo serias críticas, tanto de biólogos como de filósofos.

El debate más filosóficamente orientado y aún en desarrollo, sobre el problema de la especie fue iniciado por Ghiselin (1974, 1981) y Hull (1976, 1978, 1988, 1989.) El planteamiento es que las especies no son clases sino individuos (concretos), que a veces se conciben como sistemas materiales propiamente dichos, y otras como "entidades históricas". (Publicado en alemán y en el espíritu del materialismo dialéctico, el libro anterior de Löther de 1972, que afirmaba claramente que las especies son sistemas materiales, ha sido pasado por alto.) Desde entonces, ha venido apareciendo una marejada de comunicaciones sobre la "ontología de la especie", que elaboraba la llamada "tesis de las especies-como-individuos" (de aquí en adelante, tesis SAI, por sus siglas en inglés) –tan así, que esto se ha dado en llamar la 'plaga de las especies' (van der Steen y Voorzanger, 1986; para una antología de tales ensayos, véase Ereshefsky, ed., 1992). Sólo pocos biólogos y (bio)filósofos han resistido el vuelco bionominalista desde el principio, o han sido o se han vuelto –por distintas razones– críticos del bionominalismo (p. ej., Ruse, 1969, 1981, 1987; Bunge, 1979a, b, 1981c, 1985b; Kitts y Kitts, 1979; Caplan, 1981; Heise, 1981; Schwartz, 1981; Lang, 1983; Bernier, 1984; Kitcher, 1984a, 1987; Bock, 1986; Guyot, 1986; Løvtrup, 1987; Suppe, 1989; Leroux, 1993; Mahner, 1993a, 1994a; Webster, 1993; Ax, 1995; Gayon, 1996).

7.3.1.1 Las especies como comunidades reproductivas

Comencemos con la famosa definición de la "bioespecie" de Mayr, que se lee como sigue:

> Una especie es una comunidad reproductiva de poblaciones (reproductivamente aisladas de otras) que ocupa un nicho específico en la naturaleza (Mayr, 1982: 273).

Contra esta definición pueden esgrimirse varias objeciones. Primero, la de Mayr ni siquiera es una definición, sino una de las llamadas definiciones operacionales. De hecho, es una ***hipótesis indicadora***: no nos dice qué es una bioespecie sino cómo reconocerla, es decir, observando, o no pudiendo observar, la reproducción (o sea, "observando" el aislamiento). Ni la reproducción ni el aislamiento son propiedades definientes de una especie sino, en el mejor de los casos, pro-

piedades de organismos que pueden usarse como síntomas de que éstos son miembros de una especie en particular. En otras palabras, dos organismos no pertenecen a la misma especie porque se apareen y se reproduzcan, sino sólo son capaces de hacerlo porque pertenecen a la misma especie (Mahner, 1994a). Esto es: tener ciertas propiedades en común que hacen posible la reproducción, para empezar el apareamiento real que precede. Así, la noción de especie como clase de organismos tiene prioridad lógica sobre la noción de comunidad reproductiva desde la perspectiva de sistema concreto compuesto de organismos. (Incidentalmente, lo mismo vale para la noción de especies como linajes de Wilson, 1995:342, quien rechaza el concepto de especie como tipo pero al mismo tiempo lo presupone lógicamente requiriendo que los "componentes" descendientes de un linaje sean "del mismo tipo" que sus ancestros.) De hecho, la noción de clase o especie es un concepto lógico-semántico indispensable y por lo tanto no puede ser ontologizado o reificado sin cometer un error de categoría.

Segundo, la "definición" en cuestión toma a las poblaciones en vez de los organismos, como unidades reproductivas. A menos que sea un mero caso de lenguaje descuidado, es una instancia de mezcla de niveles, porque no puede decirse que las poblaciones se apareen y se reproduzcan sexualmente: sólo los organismos en una población pueden hacerlo. Así, lo que en el mejor de los casos se "define" es el concepto de especie de población, no el de especie de organismo.

Tercero, dependiendo de la definición de "nicho", la ocurrencia del término 'nicho' en el *definiens* puede volver circular a la "definición" de Mayr. Éste sería el caso bajo cualquier definición de "nicho" que se refiriera a especies (en vez de organismos), tal como en la definición de nicho de Futuyma (1986), como el conjunto de todos los ambientes posibles en que una especie puede "sobrevivir".

Cuarto, la atribución de un nicho a las especies exhibe otro ejemplo de mezcla de niveles. No necesitamos comentar esto aquí, ya que en la sección 5.4 hemos explicado por qué sólo los organismos tienen nichos ecológicos, por lo que ni las especies como (supuestas) totalidades ni las especies como clases pueden tener nichos.

Sin embargo, la falla de la "definición" de bioespecie de Mayr no descalifica la noción de comunidad reproductiva como sistema material. De hecho, una comunidad reproductiva *es* un sistema concreto cuya composición consiste de organismos de la misma especie y cuya endoestructura está constituida por relaciones de apareamiento. (Véase también Sober, 1993.) En la definición 4.7 hemos llamado a tales sistemas concretos *biopoblaciones*. En consecuencia, es erróneo considerar a una biopoblación como una clase de la manera en que lo hicieron, por ejemplo, Hull (1976) y Caplan y Bock (1988.) Lo que es una clase es la composición de la biopoblación, pero no la población como totalidad cohesiva.

Sin embargo, admitir que las comunidades reproductivas son sistemas reales no resuelve el problema de la especie. De hecho, igualar "biopoblación" con "bioespecie" crea más problemas de los que se espera que resuelva. Primero, como lo admiten aun sus defensores, el concepto de Mayr de bioespecie sólo vale para los organismos con reproducción sexual. Así, los organismos asexuales no

pertenecerían a especie alguna, de manera que habría organismos anespecíficos. Esto no sólo contradice la práctica biológica, sino que se trata de un claro indicador de la filosofía nominalista subyacente, para la cual las propiedades son un anatema. Ya que si –como todos los científicos cuando no están de humor filosófico– creemos que todas las cosas poseen propiedades (representables mediante predicados), entonces la expresión 'el individuo *b* posee la propiedad *Q*', o en forma resumida '*Qb*', es equivalente (aunque no idéntica) a '*b* pertenece a la clase de individuos *x* que poseen la propiedad *Q*', o '$b \in \{x | Qx\}$'. Segundo, como es bien sabido, el concepto de bioespecie de Mayr (como biopoblación) es "no-dimensional", lo que significa que ni los organismos pasados ni los futuros son parte de biopoblaciones. Así, no pertenecen a especie alguna. En consecuencia, no estaríamos en condiciones de afirmar que Aristóteles es un ser humano, ya que no es parte de una biopoblación. Tercero, si "biopoblación" y "bioespecie" fueran cointensivos, las poblaciones geográficamente separadas (o sea alopátricas) deberían considerarse especies diferentes. Si las especies fuesen sistemas concretos, debería haber tantas especies como sistemas poblacionales diferentes. En particular, de todos los organismos que son parte de biopoblaciones que a su vez son parte de diferentes comunidades y ecosistemas no podría decirse que pertenecen a la misma especie. (Véase también Damuth, 1985.) Es más, la división de una población en dos o más poblaciones (separadas) sería idéntica a una especiación. Este problema regresará cuando examinemos los taxones supraespecíficos, cuyos miembros, de acuerdo con el bionominalismo fuerte, sólo resultan individualizados por separación y ascendencia, no por propiedad intrínseca alguna.

¿Qué hay de la réplica según la cual las partes de un todo no necesitan ser "físicamente contiguas" para constituir partes del mismo individuo compuesto? ¿No son Alaska y Hawai partes del individuo concreto Estados Unidos de América, pese a encontrarse geográficamente separadas del territorio principal (Ghiselin, 1974; Mayr, 1988, cap. 20)? Sí, por supuesto, pero esta objeción yerra: no es la contigüidad espacial lo que mantiene unidos a los sistemas, sino la existencia de relaciones vinculantes entre las partes (recuérdese sección 1.7; véase también Guyot, 1986). Así, mientras que Alaska y Hawai están ligados al resto de los Estados Unidos por una multitud de relaciones políticas, económicas y culturales, que resultan comparativamente independientes de la distancia debido a los modernos medios de transporte y comunicación, dos biopoblaciones geográficamente distintas no están en manera alguna acopladas a menos que haya algún intercambio entre ellas que altere su estado.

7.3.1.2 Las especies como linajes de poblaciones ancestrales-descendientes

Los problemas planteados por el concepto de bioespecie "no dimensional" se suponía que quedarían resueltos concibiendo a las especies como linajes de poblaciones ancestrales-descendientes. Usualmente, estos linajes se definen de manera similar y se denominan con diversos nombres: 'especies evolutivas', 'especies filogenéticas' o 'especies cladísticas' (p. ej., Simpson, 1961; Wiley, 1978,

1980; Cracraft, 1987; Ridley, 1989). De acuerdo con esta interpretación, el linaje *de* una cosa se considera una entidad o individuo por sí mismo, lo que constituye un claro caso de reificación. Sin embargo, examinemos esta interpretación en mayor detalle.

El concepto clásico de especie evolutiva fue propuesto inicialmente por Simpson (1961). Su versión refinada por Wiley (1978:18) se lee así:

> Una especie es un linaje único de poblaciones ancestrales-descendientes de organismos, que mantiene su identidad con respecto a otros linajes semejantes, y que tiene sus propias tendencias evolutivas y destino histórico.

¿Cómo ha de entenderse esta definición? De acuerdo con la definición 7.4, un linaje es la unión de la ancestralidad y la progenie de una cosa. Es así un conjunto, por lo tanto no una entidad concreta que tendría un "destino histórico". Una especie evolutiva, entonces, sería la unión de la ancestralidad y la progenie de una biopoblación, es decir, un conjunto de biopoblaciones, no un sistema concreto compuesto de biopoblaciones. Una manera alternativa de volver ontológicamente precisa esta noción es concebir a la especie evolutiva como la historia (total) de una (sola) biopoblación. (Para la noción de historia de una cosa, recuérdese la sección 1.5.) Un linaje, entonces, sería el conjunto ordenado de los estados sucesivos de una biopoblación, donde el ordenamiento corresponde al tiempo. Sin embargo, la definición de Wiley habla de poblaciones ancestrales-descendientes y de esta manera prohíbe tal concepción: sólo las entidades pueden descender (no los estados), y sólo descienden de otras entidades, no de sí mismas. (La relación de descendencia es irreflexiva.) Más precisamente, los estados anteriores de las cosas preceden a los estados futuros, pero no son ancestros de los estados futuros. Aún así, de cualquier manera, obviamente sólo llegamos a conjuntos, no totalidades concretas compuestas.

Es muy posible que el bionominalista oponga a la conceptualización de los linajes como conjuntos la objeción de que los linajes serían "entidades espaciotemporalmente localizadas", es decir, entidades con una localización definida en el espacio y con comienzo y fin en el tiempo. Sin embargo, esta fórmula común descansa sobre una ontología pobre que carece de conceptos definidos de cosa, estado de una cosa, cambio e historia de una cosa. Claramente, una biopoblación es un sistema concreto que existe en el espacio y el tiempo (¿dónde, si no?). Sin embargo, la historia de una población no es en sí misma un sistema real o concreto, porque los estados pasados y futuros de la población no se hallan vinculados a sus estados presentes: la relación de antecedencia no es vinculante sino meramente una relación temporal (véase nuevamente sección 1.7, así como Guyot 1986). Por lo tanto, la historia de una cosa no existe como sistema concreto en ningún espacio ni tiempo. De manera similar, la ancestralidad y progenie de una biopoblación, esto es, un linaje propiamente dicho, no constituye un sistema concreto junto con la población presente porque una cosa y sus ancestros y descendientes no pueden actuar unos sobre otros a menos que existan contemporánea-

mente en la misma región. La relación de ancestralidad tampoco es una relación vinculante.

Muchos autores también dicen que los linajes existen a través del tiempo, que cambian y evolucionan, y que pueden ser unidades de selección tal como en la selección de especies y clados. Ya hemos rechazado tales interpretaciones como lógicamente imposibles (sección 7.2.2.4). Las historias y linajes de las cosas *son* cambios de las cosas en el tiempo, de manera que las historias y linajes mismos son objetos no mutables, por lo tanto no-entidades. En consecuencia, los linajes no tienen tendencias evolutivas ni destinos históricos. Más aún, no existen las "entidades históricas" vistas como entidades *sui generis*, de alguna manera "intermedias entre las clases y las cosas" (Wiley, 1980). Wiley propuso este híbrido ontológico porque sabe muy bien que los clados no son totalidades cohesivas, es decir, sistemas concretos. De cualquier manera, las considera "individuos filosóficos", lo que sea que esto signifique (Wiley 1989.) Pero el hecho de que los organismos se encuentren objetivamente relacionados por la descendencia no los une en algún tipo de "individuo filosófico". Como la noción de entidad histórica, entonces, considera la historia o el linaje de una cosa como individuos reales en sí mismos, es un ejemplo de reificación. Lo que podemos hacer, en cambio, es reunir a todos los organismos objetivamente relacionados en una clase, que es así una clase natural o realista. Sin embargo, las clases, ya sean naturales (objetivas o realistas) o arbitrarias (subjetivas), son objetos conceptuales, por lo tanto no reales. No puede haber híbrido entre un objeto material (o real) y uno conceptual. La distinción cosa/concepto es una dualidad metodológica, no ontológica (véase postulado 1.2.) Así, no hay *tertium quid*.

Con referencia a la solución al problema de la especie, el concepto de especie evolutiva falla tal como el de especie como comunidad reproductiva. Primero, el concepto de especie evolutiva, tal como se afirma se refiere a poblaciones, no a organismos. Sin embargo los biólogos se interesan por las especies de organismos, no las especies de poblaciones. Segundo, supongamos que queda un solo organismo de una especie al borde de la extinción (Mahner, 1993a). Esta solitaria criatura ya no sería parte de población alguna, ya que no quedaría nada de lo que pudiera ser parte. En consecuencia, sería un organismo anespecífico. Sin embargo, el último moa de Nueva Zelanda seguía siendo un moa, no un individuo desprovisto de propiedades. Tampoco este último organismo de su tipo sería parte de una especie evolutiva, porque ésta se define en términos de poblaciones y no de organismos, y *ex hypothesi* no queda población de la que pueda ser parte. Tercero, el concepto de especie evolutiva no vale para la mayoría de los organismos asexuales. Aunque los organismos asexuales también pueden formar poblaciones, obviamente éstas no son comunidades reproductivas. (La estructura interna de una población tal puede, por ejemplo, consistir de relaciones sociológicas o ecológicas en lugar de relaciones reproductivas.) Sin embargo, como sólo pocos organismos asexuales, si los hay, viven en semejantes biopoblaciones, el concepto de especie evolutiva es raramente aplicable, si lo es en absoluto. Sólo sería aplicable si tales especies se construyeran como un linaje de organismos, no biopoblaciones.

7.3.1.3 Clasificación de especies como individuos

¿Cómo le va a la tesis ECI en la interpretación estándar de la clasificación (es decir, en términos de la teoría de conjuntos)? (Para diferentes versiones de esta interpretación véanse Gregg, 1950, 1954, 1968; Beckner, 1959; Buck y Hull, 1966; Bunge, 1967a, 1983a; Løvtrup, 1973, 1974; Suppe, 1989.) Claramente, si las especies son individuos, una clasificación en términos de teoría de conjuntos es imposible.

Si las especies fueran entidades reales en vez de clases de organismos, ya no serían taxones, porque los taxones, de acuerdo con la concepción estándar, son clases de organismos. Así, sólo las representaciones conceptuales de las ECI podrían ser unidades de clasificación. Esto es, deberíamos clasificar especies, no organismos (Bunge, 1981c, 1985b.) Por ejemplo, si *Homo sapiens* fuera un individuo real en vez de una clase, debería ser el elemento (o unidad) de la clasificación: *Homo sapiens* $\in$ Homo $\subset$ Hominidae $\subset$ Primates $\subset$ Mammalia, y así sucesivamente. Según esta concepción, sin embargo, sería imposible afirmar que, digamos, Aristóteles es un ser humano, ya que esta proposición debería conceptualizarse o bien como "*Ha*", donde *a* significa Aristóteles y *H* designa una conjunción de predicados que caracterizan a la humanidad, o bien como "*a* $\in$ *Homo sapiens*". Pero ahora, sólo tendría sentido un enunciado tal como "Aristóteles es parte de *Homo sapiens*"; y este enunciado debería formalizarse o bien como "*Pah*" (donde *P* es el predicado binario que representa la relación parte-todo, atribuida a los individuos *a* y *h*, donde *h* denota el individuo *Homo sapiens*), o como "*a* $\sqsubset$ *Homo sapiens*" (donde $\sqsubset$ representa la relación parte-todo.) Esta clasificación entonces debería leerse: Aristóteles $\sqsubset$ *Homo sapiens* $\in$ Homo $\subset$ Hominidae, y así sucesivamente.

Ignorando las obvias diferencias entre las proposiciones "*Ha*" y "*Pah*", podríamos hacer un esfuerzo mayor y asumir, por el argumento, que la proposición "*a* $\in$ *Homo sapiens*" debería, por razones ontológicas, conceptualizarse como "*a* $\sqsubset$ *Homo sapiens*". Sin embargo, emergería un problema inmediato: Aristóteles está muerto, de manera que obviamente *no* es parte de población humana alguna. Tampoco podríamos decir que Aristóteles es un primate o un mamífero, porque los elementos de clasificación son ahora ECI, no organismos, de manera que *a* $\notin$ Primates, *a* $\notin$ Mammalia, etc. *A fortiori*, ningún organismo, ya sea muerto o vivo, sería un elemento de taxones superiores. En lugar de eso, podríamos obtener enunciados tan extraños como "*Homo sapiens* $\in$ Mammalia", o alternativamente "*Mh*", que se leería "*Homo sapiens* es un mamífero" –evidentemente una expresión absurda. Concluimos que ninguna clasificación propiamente dicha es posible si se adopta la tesis ECI.

7.3.1.4 Especies como individuos y leyes

Uno de los argumentos en favor de la tesis ECI consiste en la presunta ilegalidad de la especie: se ha afirmado que no hay leyes significativas que tengan a especies como sujeto (p. ej., Hull, 1978, 1987, 1989; Rosenberg, 1987). De acuerdo

con la tesis ECI, esto no debería sorprender: como las leyes imperarían sobre clases y las especies serían individuos, no podría de manera alguna haber leyes de especies.

Este argumento parece apoyarse en no poder distinguir entre "ley" y "enunciado legal". (Véase también Leroux, 1993.) Primero, recuérdese que las $leyes_1$ son propiedades de cosas (sección 1.3.4.) Entonces, las leyes en sentido ontológico "valen" para cosas, no clases. En contraste, los enunciados legales son en realidad generalizaciones: comienzan con el cuantificador universal 'para todo' ($\forall$) y se refieren así a todas las cosas de un cierto tipo. Pero los conjuntos y clases pueden tener un solo miembro, es decir, que un enunciado legal puede referirse al único elemento de la clase de referencia de una teoría. Por ejemplo, las $leyes_2$ de la tectónica de placas pueden ser verdaderas sólo en la Tierra: único elemento conocido de la clase de los planetas semejantes a la Tierra. Así, incluso la tesis ECI en principio resulta compatible con las $leyes_1$ de las especies (como individuos), y la presunta falta de $leyes_2$ de especies en biología actual no corrobora la interpretación ECI. Por supuesto, si la clase de referencia de un enunciado legal tiene un solo miembro, nos enfrentamos al problema metodológico de distinguir entre las propiedades idiosincráticas y las específicas (de la especie) de la cosa en cuestión. Es más, incluso la cosa única se comporta legalmente y por lo tanto debe poseer $leyes_1$. En otras palabras (metafóricas), no hay cosa sin su espacio nomológico de los estados.

Más importante, sin embargo, es que la tesis de que no hay leyes de especies es lisa y llanamente falsa, como puede verse revisando con detenimiento toda la literatura biológica, no sólo la porción que trata de biología evolutiva. Cuando escogemos cualquier título de la literatura, tal como 'Estridulación subacuática de los coríxidos. Señales estridulatorias y mecanismos de producción de sonido en *Corixa dentipes* y *Corixa punctata*' (Theiss *et al.*, 1983), encontramos que el artículo trata de propiedades legalmente relacionadas de los *organismos* de una cierta especie, así como las diferencias entre los *organismos* que pertenecen a especies diferentes. No hace falta decirlo, los ejemplos podrían multiplicarse *ad libitum*. Bástenos con mencionar sólo dos. Por ejemplo, resulta bien conocido que los miembros de especies distintas a menudo tienen distintas tasas de crecimiento alométricas, es decir, leyes de crecimiento (Thompson, 1917; Sudhaus y Rehfeld, 1992.) Piénsese en las (leyes) invariantes del desarrollo descritas en los miembros del género de caracoles terrestres *Cerion*, en otros aspectos extremadamente variables (Gould, 1989.) Otro ejemplo lo suministra el análisis estadístico de un número de caracteres mensurables de los miembros de un grupo de especies de chinches de agua, que arroja agrupamientos discernibles de especies –y no un continuo– en el correspondiente espacio morfométrico (Sites y Willig, 1994a, b; véase también Alberch, 1982).

Nótese, sin embargo, que la mayoría de los títulos referentes a especies (o cualesquiera otros taxones), en particular aquellos como 'Mecanismos de producción de sonido en *Corixa dentipes*' o 'Una restricción del desarrollo en *Cerion*' son engañosos, si no mal formados, porque las descripciones y enunciados legales

contenidos en las publicaciones no se refieren a especies (o taxones) como supuestas totalidades, sino a sus miembros individuales. Por ejemplo, obviamente el posible enunciado legal "La especie bacteriana *B* metaboliza arsénico" no vale para la especie *B* como presunto individuo, sino para sus miembros: "Todos los miembros de la especie *B* metabolizan arsénico".

En suma, la práctica y los escritos de los biólogos ordinarios presuponen –al menos tácitamente– que tanto las generalizaciones empíricas como los enunciados legales se refieren a los *organismos* de una cierta especie (o cualquier otro taxón), lo que implica que las especies (y taxones) son clases o tipos. Por esta razón, la interpretación ECI ignora la práctica biológica, y no puede dar cuenta de ella. Asumiendo que las especie son cosas y que las $leyes_2$ de las especies, si hubiera, deberían tratar acerca de tales especies, la tesis ECI implica que no hay $leyes_2$ sobre organismos. Incluso si las especies fuesen individuos, podría haber $leyes_2$ sobre la composición (es decir, la clase de los componentes) de tales totalidades compuestas. Sosteniendo incluso que, de hecho, no hay acerca de $leyes_2$ ECI, los bionominalistas pasan por alto que las ECI, al ser cosas concretas, también vendrían en tipos o especies, aún cuando algunos (quizá muchos) de estos tipos podrían ser clases singulares. Así, también podría haber $leyes_2$ sobre especies después de todo, aunque en este caso serían sobre biopoblaciones (como totalidades concretas) antes que organismos. (Para un intento reciente, aunque en parte mal dirigido, de defender las leyes de las especies, véase Lange 1995.)

7.3.2 *Bionominalismo fuerte: taxones-como-individuos y clasificación*

Considerando los problemas con la interpretación ECI y la clasificación, puede rechazarse la tesis ECI en favor de la concepción de la clasificación en términos de teoría de conjuntos, o –a la inversa– rechazar la concepción en términos de la teoría de conjuntos en favor del enfoque ECI, y proponer una taxonomía alternativa. Esta última opción fue elegida por los bionominalistas fuertes. En realidad ellos no sólo consideran que las especies sean individuos; también arguyen que todos los taxones son individuos compuestos en el sentido de "entidades históricas". Esta postura se ve motivada por la percepción filogenética de que todos los organismos –y por lo tanto, en forma indirecta, todos los taxones– se hallan relacionados mediante la descendencia común de (los miembros de) una sola especie ancestral. Así, toda la vida en el planeta no constituiría una clase o tipo biológico, sino más bien una totalidad concreta en el sentido de "entidad histórica". Este presunto individuo, que a veces se denomina 'Vida' o 'Biota' o incluso 'Biosfera', formaría una jerarquía de partes anidadas o "taxones" (p. ej., Griffiths, 1974; Vrba y Eldredge, 1984; Eldredge, 1985a; Salthe, 1985; Hull, 1988; de Queiroz, 1988, 1992, 1994; Nelson, 1989; Wiley, 1989.) De acuerdo con esto, tales taxones-como-individuos (de aquí en adelante, TCI) se relacionarían mediante la relación parte-todo ($\sqsubset$), no mediante las relaciones de membrecía e inclusión de la teoría de conjuntos. Tal jerarquía se lee, por ejem-

plo, así: Aristóteles ⊏ *Homo sapiens* ⊏ Homo ⊏ Hominidae ⊏ Primates ⊏ Mammalia ⊏ Amniota ⊏ Tetrapoda ⊏ Vertebrata, etcétera.

Como las "entidades" ya no son taxones propiamente dichos, es decir, clases (en particular, de tipos naturales), sino individuos concretos, los neonominalistas tuvieron éxito al menos en deshacerse de las usuales propiedades que caracterizan a los miembros de esos taxones. Ahora están en condiciones de afirmar que, no importa qué propiedades pueda poseer una parte organísmica en particular de tal "taxón", el que sea parte de un TCI no dependería de tales propiedades. Por ejemplo, una ballena en particular sería un mamífero porque es parte del individuo (o clado) Mammalia, no porque posea ciertas propiedades características tales como glándulas mamarias o una articulación escamoso-dentaria. De acuerdo con esto, un TCI no podría definirse en absoluto: sólo puede describirse o señalarse. Lo que se definiría serían los nombres apropiados de los taxones, no los taxones mismos (Hull, 1965; Buck y Hull, 1966; de Queiroz, 1988, 1992, 1994; de Queiroz y Gauthier, 1990). Hasta aquí lo que respecta a las tesis principales del bionominalismo fuerte. De manera sorprendente, pese a las diferencias conspicuas que lo separan de la concepción de la clasificación en términos de teoría de conjuntos, uno de los padres del bionominalismo sostiene que "aunque el cambio es metafísicamente bastante drástico, no altera en manera alguna las inferencias tradicionales" (Hull, 1988:399). Veamos si esta afirmación soporta un examen lógico, semántico y ontológico más de cerca.

Para empezar, debemos rechazar la idea de que la descendencia es una relación causal (Hull, 1988, p. 448), que se encuentra detrás del concepto de TCI. En verdad, la relación causal relaciona eventos, no cosas (véase sección 1.9). Además, aunque los descendientes son producto de sus ancestros inmediatos, esta relación no los une en una totalidad cohesiva, ya que no necesariamente hay interacciones entre ancestros y descendientes. Esto vale *a fortiori* para los ancestros mediatos. Por lo tanto, insistimos en que, como la relación de descendencia no es vinculante, los linajes o clados no son totalidades cohesivas y los organismos pasados y futuros de un clado no se encuentran acoplados a sus miembros presentes. (Véase también Damuth, 1985.) Es más, ni los linajes ni los clados tienen propiedades emergentes, y no puede decirse que estén en un cierto estado en un momento del tiempo. Así, no pueden cambiar (como presuntas totalidades) ni sufrir proceso alguno (como presuntas totalidades.) En particular, no pueden ser seleccionados y no pueden evolucionar. Así, los taxones, ya sean especies o clados, no son sistemas materiales y por lo tanto no contituyen individuos reales, y no existe relación parte-todo entre organismos, especies y taxones superiores.

En consecuencia, los taxónomos no ordenan –ni pueden ordenar– los sistemas reales de la manera en que algunos autores han propuesto (p. ej., Griffiths, 1974; de Queiroz, 1988; de Queiroz y Donoghue, 1988). Éstos piensan que el ordenamiento de los TCI, al tratarse de sistemas reales, sería una "sistematización" en vez de una "clasificación". Sin embargo, sólo los curadores de los museos ordenan cosas reales, aunque usualmente muertas: literalmente ponen y disponen organismos conservados, no TCI, en diferentes armarios y gabinetes. Sin embargo, este

ordenamiento presupone la existencia de un sistema *conceptual*, es decir, de una clasificación. En otras palabras, el curador debe haber ubicado mentalmente a los organismos en sus respectivos lugares antes de ubicarlos materialmente en armarios y gabinetes.

La idea de que los sistemáticos ordenan sistemas reales TCI indica que los bionominalistas fuertes no pueden distinguir entre una cosa real y su representación conceptual. Por supuesto, ésta es exactamente la principal falla de cualquier filosofía nominalista. Para aclarar este punto, asumamos, para los fines del argumento, que realmente hubiera una jerarquía de TCI definida según la relación parte-todo. Esta jerarquía, sin embargo, no sería una clasificación: aunque el mundo es ordenado y estructurado, no es una clasificación, porque una clasificación es una operación puramente conceptual llevada a cabo por el sujeto que clasifica, operación en la que claramente no aparecen relaciones ontológicas parte-todo. Después de todo, las clasificaciones son definiciones (de clases), por lo tanto constructos. Afirmar, entonces, que los taxones son individuos reales es semánticamente erróneo porque confunde a los conceptos con sus referentes. Sin embargo los referentes (fácticos) de un constructo (científico) no son parte del constructo sino del mundo. Si no los filósofos, al menos algunos biólogos han notado esta distinción y afirman claramente que un taxón sólo puede ser una representación conceptual de un individuo real en la naturaleza, tal como una bioespecie como individuo (p. ej., Willmann, 1985), o un "clado como individuo" o "comunidad de descendencia cerrada" (Ax, 1985, 1988.) En suma, los taxones no son ni individuos concretos ni "entidades históricas", sino constructos. El problema sólo puede ser cómo estos constructos son apropiadamente concebidos y qué representan: los taxones, ¿categorizan organismos del mismo tipo y son así conceptos de clase, o representan individuos (superorganísmicos), tales como clados como individuos concretos (de aquí en adelante CCI), y así deben concebirse como conceptos de individuo? (Recuérdese sección 2.1.)

La crítica de que la mayoría de los bionominalistas no distinguen entre una cosa y su representación conceptual afecta la afirmación de que los TCI sólo podrían describirse o caracterizarse, no definirse, ya que se puede definir signos y constructos pero no cosas. Por lo tanto, si los clados fueran individuos no podrían ser definidos en realidad sino sólo descritos. Sin embargo, como los taxones son de cualquier manera constructos, muy bien podrían ser definidos, esto es, igualados a otros constructos, al menos en principio, y si tales definiciones fuesen útiles. Por ejemplo, antes de conocerse el ciclo de vida de los celenterados, los estadios de pólipo y medusoide a menudo se clasificaban como especies y hasta géneros diferentes. Ahora que sabemos más, podemos ponerlos en el mismo taxón, es decir, podemos decir que el taxón *A* es el mismo que el taxón *B*, tal como en la definición "*Laomedea gelatinosa*" $=_{df}$ "*Obelia commisuralis*". En otros casos, tenemos dos nombres diferentes para el mismo taxón, de manera que también podemos definir nombres de taxones, tal como en la definición 'Rhynchota' $=_{df}$ 'Hemiptera'.

A continuación asumamos que el bionominalista fuerte concuerda en que los

TCI sólo pueden ser descripciones, y por lo tanto representaciones conceptuales de CCI. Entonces queda el problema de que lo que usualmente se describe en tal caso no es un clado como totalidad, sino sus partes organísmicas y sólo éstas. Ello resulta particularmente obvio cuando los clados se categorizan por medio de apomorfismos. Por ejemplo, cuando se describe el (presunto) CCI Amniota como poseedor de una vía de desarrollo particular caracterizada por membranas embrionarias y la aparición de un surco primitivo, no se describen en realidad las propiedades del presunto CCI sino de sus partes organísmicas. Esto se debe a que las propiedades específicas de los organismos no son resultantes en ningún nivel de sistemas supraorganísmicos. Esto es, Amniota como CCI no posee membranas embrionarias ni desarrollo alguno. Lo mismo vale para todos sus subclados hasta llegar a sus partes ECI. De esta manera, referirse a los apomorfismos al caracterizar un taxón no describe un CCI, sino a lo sumo su composición organísmica: "Todos los organismos que desarrollan cuatro membranas embrionarias son parte de Amniota". Sin embargo, como la composición de un sistema es una colección y no una cosa, y como se requiere la definición de la clase de los componentes de un individuo compuesto para caracterizarlo, la definición de una clase de organismos amniotas tendría prioridad lógica sobre la caracterización (descripción) de Amniota como CCI. Pero entonces una descripción del CCI Amniota debería contener un enunciado tal como "(La totalidad compuesta o CCI) Amniota se compone de amniotas". En consecuencia, la clase natural conceptualista Amniota es coextensiva con la composición organísmica del presunto individuo compuesto Amniota. En suma, resulta sencillamente imposible caracterizar un individuo sin conceptos de clase. (Véase también Suppe, 1989.)

Un nuevo problema con la tesis TCI se origina en las propiedades de la relación parte-todo, en particular su carácter transitivo: si $x \sqsubset y$ y $y \sqsubset z$, entonces $x \sqsubset z$. Como se mencionó antes con respecto a la tesis ECI, a fin de obtener la misma proposición que, por ejemplo, "$a \in$ Mammalia" en términos de la relación parte-todo, es decir "$a \sqsubset$ Mammalia", deberíamos leer ésta de la misma manera que la relación de membrecía de conjuntos. Esto es, decir que "*a* es parte de Mammalia" debería ser equivalente a "*a* es un mamífero". Sin embargo, ambas relaciones no son cointensivas ni coextensivas. Mientras que la relación parte-todo es una relación ontológica reflexiva, asimétrica y transitiva, la de membrecía de conjuntos es una relación lógica irreflexiva, asimétrica e intransitiva que incluso tiene *prioridad lógica* sobre la conceptualización de la relación parte-todo. Por ejemplo, en la proposición "*a* es parte de *m*" o de manera abreviada "*Pam*", el predicado *P* (que representa la relación parte-todo) se atribuye al par ordenado de individuos $\langle a, m\rangle$. Sin embargo, esta concepción estándar de una relación binaria presupone la relación de membrecía de conjuntos: si *P* representa una relación binaria, su extensión es el conjunto $\mathcal{E}(P) = \{\langle x, y\rangle \mid Pxy\}$, de manera que un par en particular tal como $\langle a, m\rangle$ es un elemento de $\mathcal{E}(P)$, es decir que $\langle a, m\rangle \in \mathcal{E}(P)$. En contraste, la membrecía de conjuntos es un concepto primitivo, no cualquier relación típica definible en términos de la relación de membrecía de conjuntos; esto es, la membrecía de conjuntos es la relación primitiva usada en la definición de todas

las demás relaciones. Es más, la proposición "*a* es un miembro de la colección $\{x|Mx\}$" o de manera abreviada "$a \in \{x|Mx\}$" es equivalente a "*a* es un *M*", o de forma resumida "*Ma*", donde *M* es un predicado *unario*. Por ejemplo, si $\mathcal{M}$ designa el taxón Mammalia, y si $\mathcal{M} = \{x|Mx\}$, entonces $a \in \mathcal{M} \Leftrightarrow Ma$. Ninguna equivalencia semejante resulta constructible a partir del predicado "es parte de" o, para el caso, de ningún otro predicado binario.

Si aún así se sostuviera que las proposiciones "Aristóteles es un ser humano" o de manera abreviada "*Ha*", y "Aristóteles es un mamífero", o de manera abreviada "*Ma*" han de reconceptualizarse como "Aristóteles $\sqsubset$ *Homo sapiens*", y "Aristóteles $\sqsubset$ Mammalia", respectivamente (o, en una notación lógica obvia, "*Pah*" y "*Pam*" respectivamente), debido a la transitividad de la relación parte-todo deberíamos obtener también proposiciones tales como "Mammalia $\sqsubset$ Vertebrata" o "*Pmv*". Por razones de consistencia, éstas deberían traducirse 'Mammalia *es* un vertebrado' –una oración obviamente carente de significado. [Recuérdese que la proposición –que sí tiene significado– "Los mamíferos *son* vertebrados" o "$\forall x$ $(Mx \Rightarrow Vx)$, es equivalente a "Mammalia $\subseteq$ Vertebrata".] Peor aún; como, de acuerdo con la transitividad de la relación parte-todo, las partes de los organismos también serían partes de taxones superiores, deberíamos considerar al cerebro de Aristóteles, por ejemplo, como un ser humano, un primate, un mamífero, un vertebrado, etc., porque sería parte de todas estos TCI. Claramente, éste no es un mero "artificio contraintuitivo de la reconceptualización que no puede hacer daño real alguno" (Rosenberg, 1985:209), sino una *reductio ad absurdum* de la interpretación TCI.

Pero quizá no tenemos derecho a leer la relación parte-todo de la misma manera que la relación de membrecía de conjuntos. Después de todo, lo que hace a ciertos CCI parte de otros CCI supuestamente es el llamado "nexo genealógico", o sea, la relación ancestro-descendiente. Sin embargo, el enunciado, digamos, "Sauropsida y Mammalia son partes de Amniota" simplemente no tiene el mismo significado que "Sauropsida y Mammalia son descendientes de Amniota", porque deberíamos asumir un individuo Amniota (por encima de sus partes) del cual las partes descenderían. Sin embargo, un todo no precede a sus partes. Por lo tanto, el nexo genealógico no puede representarse mediante la relación parte-todo. Aunque esto también es cierto para la concepción de la clasificación en términos de la teoría de conjuntos, para Amniota = Sauropsida $\cup$ Mammalia, esta última al menos permite hacer enunciados significativos de la forma "*x* es un *A*", mientras que un enunciado de la forma "*x* es parte de *a*" no nos dice nada de interés en el contexto de la clasificación.

En verdad, los enunciados de la forma "*x* es parte de *a*" no resultan en medida alguna informativos en sí mismos, ya que –como afirman correctamente los antiesencialistas (p. ej., Hull, 1978)– no es necesario que las partes de un individuo se parezcan entre sí. Lo mismo vale para la respuesta usual a preguntas de la forma '¿Por qué *x* e *y* son similares?', es decir, "porque descienden de un ancestro común *z*": si la ancestralidad común fuera todo lo que interesase, entonces los descendientes de un ancestro común no necesariamente se parecerían entre sí.

Volvamos estos enunciados obvios contra la tesis TCI inspeccionando algunas de sus consecuencias. (Véase también Leroux 1993.) Por ejemplo, podríamos afirmar que, como los seres humanos resultan tener relaciones estrechas con sus mascotas, existe una totalidad compuesta que consiste en seres humanos, perros, gatos, loros o lo que fuere; y llamaríamos a este individuo compuesto *Homo sapiens*. Como, de acuerdo con los antiesencialistas no hay naturaleza humana, ni canina, ni felina ni psitacina (p. ej., Hull, 1989), él no puede distinguir esta totalidad compuesta de una consistente sólo de seres humanos.

Mientras que el biólogo encontrará inaceptable esta situación, el filósofo bionominalista puede simplemente decir: "¿y entonces, qué?". Por ejemplo, Hull (1978) no parece afectado en absoluto por tales contraejemplos: "Si mascotas y computadoras funcionan como seres humanos, entonces desde ciertas perspectivas pueden contar como seres humanos aun cuando no se incluyen en la especie biológica *Homo sapiens*" (p. 205.) Pero si se está preparado para llegar tan lejos, ¿por qué no incluir mascotas y computadoras en *Homo sapiens* después de todo? El bionominalista podría responder que, aunque las partes de un TCI no necesariamente se parecen entre sí, de cualquier manera tienen algo en común; la reproducción común en el caso de las poblaciones de SAI, y la ascendencia común en el de los TCI. Sin embargo, este movimiento no tiene efecto. Primero, podemos claramente abandonar la relación de reproducción para caracterizar a *Homo sapiens* porque, de otra manera, no tendríamos razón alguna para considerar, por ejemplo, un ser humano al papa. Es más, esta réplica presupondría la posesión de ciertas propiedades en común, al menos las necesarias para que tuvieran lugar el apareamiento y la reproducción. Segundo, si aseguramos que la ascendencia en común es lo que interesa, el bionominalista no puede responder satisfactoriamente la siguiente pregunta: ¿por qué nuestros hijos (o a la inversa, nuestros padres) deberían ser seres humanos en vez de ranas o insectos? Para responderla, debería referirse a algo que precede lógicamente (e históricamente) a la ancestralidad en común: las propiedades de los organismos que hacen posible en primer lugar, a la ancestralidad en común y a la descendencia en común, respectivamente.

En verdad, la pregunta anterior sólo puede ser respondida adecuadamente diciendo, por ejemplo, que nuestros hijos son seres humanos porque descienden de seres humanos y porque la propiedad compleja "humanidad" es herencia-dependiente (para la noción de herencia-dependencia, véase capítulo 8.) Es más, aparte de las propiedades que constituyen la humanidad, debemos presuponer muchas más propiedades legalmente relacionadas. No sólo debemos presuponer todas las leyes que valen para *Homo sapiens* sino también las leyes de Primates, Mammalia, Amniota, Tetrapoda, Vertebrata etc. Así, sólo podemos esperar producir descendientes de nuestro tipo si hay ciertas leyes genéticas y de desarrollo que "gobiernan" la reproducción y la descendencia. Sin embargo, la existencia de tales leyes, ya sean específicas de taxones de orden superior o de especies, es justamente lo que los bionominalistas niegan (véanse, p. ej., Hull, 1978, 1989; Rosenberg, 1987). En consecuencia, no debería existir nada parecido a las restricciones de desarrollo y filogenéticas, ya que no son sino las leyes$_1$ a las que nos

referimos cuando construimos los espacios nomológicos de los estados de los organismos en cuestión. En suma, la relación de descendencia no puede ser la historia entera porque no puede explicar por sí misma por qué nuestros descendientes son como son. Los bionominalistas pasan por alto el hecho de que una explicación de la similitud en términos de ancestralidad en común es entimemática: cuando decimos que x e y son similares (mejor aún: equivalentes) porque tienen un ancestro z en común, presuponemos que z es también similar a x e y. Si se pasa por alto estos mecanismos y propiedades subyacentes de la reproducción, herencia y desarrollo, terminamos con explicaciones hueras tales como "Hoy es domingo porque ayer fue sábado". Esto es exactamente lo que los antiesencialistas nos piden que aceptemos.

Esto también trae una nueva llamada de atención sobre nuestra afirmación anterior de que es imposible caracterizar un individuo sin conceptos de clase. Por ejemplo, a fin de caracterizar una población humana como individuo compuesto, se requiere decir de qué tipo de entidades se compone. Lo mismo vale para la caracterización de *Homo sapiens* como totalidad (o ECI): debemos decir que este (presunto) individuo se compone de seres humanos en vez de ranas, insectos o secoyas. Esto a su vez presupone una noción de *Homo sapiens* en términos de una clase (véase el ejemplo anterior de Amniota.) Lo mismo se sostiene para la caracterización de un individuo (organísmico) como parte de una población: por ejemplo, si H designa el conjunto de todos los seres humanos, entonces la proposición "b fue, es o será parte de alguna población humana" puede enunciarse de modo más preciso como "Para alguna biopoblación p, y para algún tiempo t, la composición C de p en t se incluye en H, y b es una parte de p en t". Esto es, $(\exists p)(\exists t) \sqsubset$ p es una biopoblación & t es un instante de tiempo & $C(p, t) \subseteq \mathcal{H}$ & $b \in C(p, t)$, donde a su vez $C(p, t) = \{x$ es un miembro de la clase de los organismos de $t \mid x \sqsubset p \;\&\; x \in \mathcal{H}\}$ (Bunge 1985b).

Sitiados por la consecuente imposibilidad de obtener las propiedades necesarias y suficientes para la definición de taxones (véase, p. ej., Hull, 1965), los neonominalistas fuertes también rechazan el requerimiento mismo de que los taxones (o los nombres de taxones en jerga nominalista) se definan en términos de caracteres organísmicos. A lo sumo, éstos servirían como indicadores, para reconocer las "partes" de los TCI (véase también Sober, 1993.) Ya hemos comentado esta interpretación, pero debemos agregar algunas críticas adicionales ahora.

Por ejemplo, algunos bionominalistas han propuesto definir el nombre del taxón 'Mammalia (Recientes)' como denotando el clado que brota del más reciente ancestro común de Monotremata y Theria (de Queiroz, 1988, 1992, 1994). Un primer problema con esta sugerencia es que si los nombres de taxón son nombres propios de individuos concretos, no puede definírselos. Un segundo problema es el siguiente. Si no se sabe, por ejemplo, a qué se refiere el nombre 'Theria', éste se asigna al clado que brota del más reciente ancestro común de Marsupialia y Placentalia. Y si no se sabe a qué se refieren los nombres 'Marsupialia' y 'Placentalia', todo el procedimiento ha de repetirse en forma "ascendente" o "descendente" hasta llegar a Vida-como-totalidad en un extremo, o a las ECI

(terminales) en el otro. En verdad, en este caso de regresión infinita sólo queda refugiarse en el extensionalismo, porque no se supone que la Vida ni las ECI se caractericen mediante propiedades. Por lo tanto, lo que se nos ofrece no es una clasificación en algún sentido comprensible, sino un conjunto de individuos casi desnudos, ya sean ECI, TCI u organismos, individualizados solamente por la relación de descendencia de algún otro individuo que desciende de algún otro individuo, y así sucesivamente.

Esta propuesta se halla en clara discordancia con cualquier ontología razonable, porque toda cosa posee no sólo propiedades relacionales sino también intrínsecas, las que en principio son necesarias para merecer la calificación de objeto material. Como los nominalistas aborrecen las propiedades y las clases, son incapaces de obtener una descripción detallada de individuo concreto alguno, dado que este procedimiento requiere conceptos de clase. Por esta razón, a veces descansan sobre las llamadas "definiciones ostensivas", tales como "Esto es una ballena". Pero las "definiciones" ostensivas no son definiciones en absoluto (éstas son identidades de signos o conceptos); a lo sumo, son maquetas didácticas (véase Copi, 1968).

Regresando a nuestro ejemplo anterior, el individuo Wolfgang Amadeus Mozart se caracteriza no sólo como hijo de Leopold y Anna Maria Mozart, sino también como el compositor de la ópera *Die Zauberflöte*, como austriaco, como ejecutante de violín y pianoforte, como una persona que vivió entre 1756 y 1791, etc. Así, estipulamos que todo individuo concreto puede caracterizarse mediante la intersección de un número finito de clases: para todo x, si x es una cosa, entonces hay una familia finita $F = \{C_i \mid 1 \leq i \leq n\}$ de clases tal que $x = (\iota y)(y \in C_1 \cap C_2 \cap \ldots \cap C_n)$, o $\{x\} = C_1 \cap C_2 \cap \ldots \cap C_n$. (El símbolo ι se denomina *descriptor definido*, y 'ιy' ha de entenderse como "exactamente este individuo y".) Este supuesto es consistente con el postulado ontológico de que toda cosa es única.

Para resumir, en su intento de tomar en cuenta la evolución, el bionominalismo fuerte pierde la esencia de la evolución: la emergencia de la novedad cualitativa. Aunque no se la niegue, la novedad cualitativa se considera meramente un epifenómeno. Al asumir que todo cuanto interesa son los individuos que descienden unos de otros formando así linajes o "entidades históricas" –caracterizadas sólo por su espaciotemporalidad pero por ninguna propiedad sustancial y menos aún esencial–, lo que tenemos es un *descendentismo hueco*, pero nada que tenga que ver con la evolución biológica, es decir, emergencia de organismos cualitativamente nuevos. En otras palabras, de acuerdo con el bionominalismo fuerte, la evolución es descendencia más "cambio desnudo" *con o sin* modificación. Más aún, como ni las antiguas ni las nuevas especies se caracterizan (necesariamente) por cualidades, la especiación equivale a la partición de un "linaje", esto es, la formación de una nueva rama o "parte" dentro de la "entidad histórica" Vida. Así, la especiación no puede distinguirse de la separación. (Recuérdese: lo que importa es la presunta espaciotemporalidad, no las propiedades sustanciales.) Concluimos que el bionominalismo fuerte no suminstra, ni puede suministrar, una metafísica de la evolución; en el mejor de los casos, una metafísica del descendentismo huero.

7.3.3 *El bionominalismo y algunas de sus implicaciones*

Si el filósofo de la biología no admite la noción de tipo natural o biológico como se elucidó en la sección 7.2, entonces nada le impide creer que "todos los tipos biológicos por encima del nivel de macromolécula serán funcionales" (Rosenberg, 1994:34.) La idea de que la mayoría de los tipos biológicos, si no todos, son tipos funcionales -esto es, definidos por la relación de equivalencia "poseer el mismo rol", antes que "poseeer la misma composición y estructura"- no es infrecuente entre los filósofos de la biología: recuérdese, por ejemplo, la concepción que tienen los etiólogos de las funciones y roles de los biosistemas (sección 4.6). De cualquier manera, tal idea es errónea porque ignora no sólo la sistemática, sino los diversos tipos estructuralmente definidos de la morfología comparada (véase Amundson y Lauder, 1994). Ejemplos de tales tipos (tomados de la morfología de los insectos) son: el *epimeron*, el *Musculus dorsoventralis secundus mesothoracis* o el *Nervus frontalis*. Incluso si los nombres de ciertos (tipos de) órganos son descriptivos de sus roles, como en el caso de muchos músculos, por ejemplo, el *Musculus dilatator cibarii*, los tipos de músculo se definen por los *origo*, *insertio* y quizá *innervatio* comunes, no por su rol ("función"); en resumen, se definen estructuralmente, no funcionalmente.

Sobre la base de la falsa creencia de que todos los tipos biológicos son funcionales, así como de su incapacidad de encontrar leyes$_2$ que valgan para tales tipos (p. ej., todos los animales acuáticos), Rosenberg (l.c.) concluye que no hay leyes biológicas en absoluto, y así aboga por una concepción instrumentalista de la biología. La concepción de Rosenberg implica que la biología trata solamente de analogías (homoplasias) o, en otras palabras, que toda la biología es *Analogenbiologie*. Esta implicación es claramente errónea: gran parte de la biología trata de caracteres y modos de vida homólogos. Por esto es que los biólogos se interesan en los grupos naturales (monofiléticos) de organismos, es decir, en tipos no funcionales de organismos. Así, además de investigar las comunalidades de los miembros de un tipo no natural como los "animales acuáticos", que resulta de particular interés para los ecólogos, tratan de obtener tipos naturales, tal como las chinches de agua (recuérdese sección 4.6). En este caso, sí estamos en condiciones de hallar propiedades legalmente relacionadas. Por ejemplo, todas las chinches de agua comparten una cantidad de apomorfismos legalmente relacionados: entre otros caracteres, todas tienen un par de órganos timpanales al menos en el mesotórax; todas se caracterizan por la fusión de sus ganglios subesofágicos y pronotales; todas poseen lóbulos mesepimerales posteriores fuertemente agrandados, y todas tienen antenas reducidas que se insertan por debajo de los ojos (Mahner, 1993b). Aun si reconocemos que los tipos así definidos no son tipos naturales en el sentido tradicional, sino tipos biológicos como se explica en la sección 7.2.2.2 (principio 4), es evidente que estos tipos no son funcionales. En suma, si Rosenberg (1985) no hubiera adoptado una postura bionominalista, tendría un argumento menos para su alegato en pro del bioinstrumentalismo (Rosenberg, 1994).

Evidentemente, nuestra concepción de los tipos biológicos se halla atada a nuestra ontología emergentista, en la cual la noción de novedad cualitativa es central. Ahora, Rosenberg (1994) rechaza el concepto de emergencia como misterioso y adopta en su lugar la noción de superviniencia. Sin embargo, como argumentamos en la sección 1.7.3, la noción de superviniencia no puede dar cuenta de la novedad cualitativa: sólo relaciona dos conjuntos de propiedades (o mejor dicho predicados) de una manera estática e incluso simétrica. Así, mientras que el bionominalismo puede resultar compatible con la superviniencia, es incompatible con el emergentismo, y por lo tanto con una ontología genuinamente evolutiva (véase sección 9.1).

Un área que no salta inmediatamente a la mente al considerar las implicaciones del bionominalismo es la ética. Por ejemplo, los éticos preocupados por el bienestar animal, si no los derechos de los animales, demandan que prestemos mayor atención a las necesidades, si no intereses, de los animales. (Como resultará obvio a partir del capítulo 6, sólo algunos animales que poseen sistemas neuronales plásticos de cierta complejidad pueden tener intereses.) Esto implica tratarlos apropiadamente de acuerdo con las necesidades específicas de su especie. Pero, ¿es posible si, como Hull (1989) y otros, se niega que las especies, o para el caso otros taxones, tengan "naturalezas", o sea, propiedades nomológicamente esenciales? Peor aún, si las especies carecen de naturaleza y, por lo tanto, no hay una naturaleza humana, ¿puede haber derechos humanos y deberes? Tal vez estos ejemplos basten para mostrar que el bionominalismo tiene consecuencias que llegan mucho más allá de la sistemática e incluso de la biología. (Más sobre bionominalismo y ética, en particular el rol del concepto de naturaleza humana en ética, en Bradie, 1994b, capítulo 4).

7.3.4 *Conclusión*

Ambas variantes del bionominalismo –fuerte y débil– son erróneas lógica, semántica y ontológicamente. La popularidad del bionominalismo fuerte surge de la hipótesis bien corroborada de que todos los organismos de este planeta se hallan relacionados por una ascendencia en común, y se correlaciona de esta manera con el triunfo de la taxonomía cladista. El éxito del bionominalismo débil reposa principalmente sobre la equiparación de los términos 'bioespecie' y 'biopoblación' (Bunge, 1981c; Brady, 1982; Bock, 1986; Mahner, 1993a). Esto es, todos los argumentos en favor de la interpretación ECI resultan incapaces de probar que las especies son cosas. Lo que sí logran es mostrar que realmente existen sistemas materiales compuestos de organismos, a los que hemos denominado 'biopoblaciones' (definición 4.7).

Por supuesto, es posible llamar a esos sistemas materiales 'bioespecies' en vez de 'biopoblaciones' a fin de salvar el hábito de hablar de la "evolución de las especies". Pero el resultado de esta redenominación y reconceptualización es la imposibilidad de cualquier clasificación genuina, que presupone conceptos de espe-

cie como clase o, más generalmente, de taxón como clase. Peor aún, vacía los conceptos de evolución y especiación: el primero se reduce a una forma de cambio desnudo en el que el cambio cualitativo no es necesario ni suficiente, es decir, es accidental o epifenoménico; el segundo se equipara con una separación, en la cual nuevamente la emergencia de la novedad cualitativa es accidental en el mejor de los casos.

Concluimos que el nominalismo no es una filosofía de la taxonomía viable. (No es ésta una gran sorpresa, ya que el nominalismo siempre ha sido un fracaso, excepto como reacción primitiva contra el platonismo.) Y sostenemos así que el bionominalismo es una de las principales concepciones erróneas de la actual filosofía de la biología.

8 BIOLOGÍA DEL DESARROLLO

8.1 ¿QUÉ ES EL DESARROLLO?

El desarrollo de los organismos siempre pareció un proceso algo misterioso que hacía pensar en un diseño y un propósito. Sólo el problema biológico-metafísico de la vida puede haber atraído a tantos divulgadores de misterios. En verdad, el desarrollo –en particular la morfogénesis– sigue siendo hasta hoy uno de los procesos más fascinantes y menos entendidos de la biología. No debe sorprender que sea uno de los últimos baluartes de los teleólogos. Es más, la antigua aunque algo actualizada controversia del preformacionismo *versus* epigeneticismo aún inspira (u obsesiona) a la biología del desarrollo. Y aun así, aunque dé lugar a interesantes problemas ontológicos y epistemológicos, la biología del desarrollo no es un tema primordial en las monografías convencionales sobre filosofía de la biología. Con la notable excepción de Woodger (1929), no hay ningún capítulo sobre desarrollo en Beckner (1959), Ruse (1973), Hull (1974), Rosenberg (1985) o Sober (1993.) Sólo Ruse (1988), en un capítulo titulado "Otros temas", admite que hasta ahora el desarrollo ha sido descuidado por la filosofía de la biología. Por esta razón, y como necesitaremos ciertos conceptos básicos de biología del desarrollo a fin de dilucidar la noción de evolución (sección 9.1), dedicamos este capítulo a examinar algunos de los temas de la biología del desarrollo que son de interés filosófico.

8.1.1 *Desarrollo y procesos de desarrollo*

Nuestro primer paso será examinar lo que creemos que debe entenderse como "desarrollo". Esto porque el concepto de desarrollo a menudo pierde sentido debido a que algunos autores usan "estar vivo" y "desarrollarse", o "ciclo de vida" y "proceso de desarrollo" de manera intercambiable, sólo porque vivir es cambiar. Es más, no resulta claro cuál es la diferencia, si la hay, entre los términos 'desarrollo', 'embriogénesis', 'epigénesis' y 'ontogenia'.

Sostenemos que un período (o etapa) en la historia de vida de un organismo es un proceso de desarrollo sólo si va acompañado de la emergencia o submergencia de al menos una propiedad (o cualidad) genérica, ya sea composicional o estructural. (Recuérdese el postulado 1.9, así como la distinción entre propiedades genéricas e individuales de la sección 1.3.3. Por ejemplo, la capacidad de sintetizar una cierta proteína es una propiedad genérica, mientras que la tasa precisa de síntesis de esta proteína en un momento dado es una propiedad particular o individual.) Este cambio cualitativo, sin embargo, no transforma al biosistema en cuestión en un miembro de una nueva especie.

Es más, estipulamos que el cambio cualitativo en cuestión debe ser un evento o proceso interno, es decir, uno que involucre alguna actividad o función organísmica (véase definición 4.8). En otras palabras, no debe ser producido directamente por algún agente o agentes ambientales. (Piénsese en algo como una herida abierta infligida por algún predador.) Más precisamente, no debe ser causado por lo que denominamos 'transferencia de energía fuerte' o 'generación (completa) de eventos', debidas a algún agente en el entorno del organismo (recuérdese sección 1.9.2), aunque muy bien puede ser desencadenado por algún agente externo. De hecho, muchos procesos de desarrollo son desencadenados por factores ambientales tales como la temperatura o la salinidad, pero no son directamente producidos o causados *in toto* por éstos. Piénsese en la determinación del sexo en la mayoría de los reptiles, el cual depende de la temperatura; también, la formación de una cicatriz es provocada por un daño que, a su vez, fue generado por algún agente ambiental. Distinguiendo, entonces, la noción de generación de eventos de la de desencadenamiento de eventos, proponemos:

DEFINICIÓN 8.1. Represente $P(b, t)$ el conjunto de propiedades genéricas de un biosistema b en algún tiempo t. Además, llamemos s al estado de b en el tiempo t y s' a su estado en un tiempo t', donde $t' > t$. Entonces el evento (o proceso) $\langle s, s' \rangle$ es un *evento* (o *proceso*) *de desarrollo* de b, si y sólo si

(i) $\langle s, s' \rangle$ no es (directamente) *generado* por algún agente o agentes ambientales; y

(ii) $P(b, t') \neq P(b, t)$.

En otras palabras, cualquier período en la historia de vida de un biosistema no acompañado por un cambio cualitativo no es una etapa de desarrollo sino (meramente) de vida. De acuerdo con esto, de los biosistemas que no cambian cualitativamente (dentro de sus límites de especie) durante su vida no puede decirse que experimenten desarrollo alguno. Éste parece –*pace* Blackmore (1986)– ser el caso de muchos organismos unicelulares que sólo viven y se reproducen sin sufrir cambios cualitativos (véase también Hall, 1992.) Sin embargo, algunos organismos unicelulares sí sufren procesos de desarrollo. Por ejemplo, bajo ciertas condiciones ambientales algunas bacterias pueden ensamblar flagelos, o formar esporas o quistes. Los miembros de los Amoeboflagellata pueden cambiar su forma de un morfo amebiano a uno flagelado (o viceversa), sintetizando así un aparato flagelar. Los ciliados absorben y resintetizan sus macronúcleos durante la conjugación. Luego de la división celular en el ciliado *Stentor*, la célula hija que surge del extremo posterior de la célula madre asimétrica debe regenerar la parte anterior que contiene la llamada área oral de la membrana celular. Un ejemplo final es el que dan las algas miembros del género *Acetabularia* (Chlorophyta, Dasycladaceae), en las que el cigoto, que permanece unicelular y uninucleado hasta inmediatamente antes de la formación de las células reproductivas, se desarrolla formando un talo caracterizado por un casquete específico en forma de espira en el extremo apical (de ahí su nombre común de *gorro de sirena*).

Como la embriogénesis es epítome de desarrollo, a menudo se le equipara con

éste. Aunque en algunos casos esto es verdad, en general es incorrecto, porque (a) el desarrollo de un organismo no necesariamente se restringe a la embriogénesis, y (b) no necesariamente es un proceso continuo. Por ejemplo, los insectos holometábolos experimentan un segundo período conspicuo de desarrollo además de la embriogénesis: el estadio pupal. Para dar cabida a casos como éste, proponemos:

DEFINICIÓN 8.2. El *desarrollo* de un biosistema *b* es la secuencia de todos los eventos y procesos de desarrollo de *b*.

Nótese la formulación 'procesos de desarrollo *de b*'. No todos los procesos de desarrollo *en* un biosistema, es decir, en alguno de sus subsistemas, necesariamente conducen a un cambio asociado al desarrollo *del* biosistema mismo. Por ejemplo, en nuestro sistema inmunológico algunas células se desarrollan continuamente a partir de células progenitoras más o menos indiferenciadas. Así, los procesos de desarrollo en el nivel celular tienen lugar mientras vivimos. Sin embargo, el organismo no experimenta un cambio cualitativo como totalidad cuando algunas de sus partes son remplazadas por partes del mismo tipo. En otras palabras, el organismo permanece en el mismo (subespacio de su) espacio nomológico de los estados. Cuando, por ejemplo, algunas de las células de mi médula ósea se desarrollan en linfocitos-*B* (o bien en eritrocitos), yo no me desarrollo como totalidad: aún tengo la propiedad genérica de poseer linfocitos-*B*. Sólo cuando esta propiedad está recién adquirida o perdida en algún momento de mi historia de vida, ocurre un proceso de desarrollo a nivel organísmico. En cambio, la adquisición (o pérdida) de inmunidad a agentes infecciosos (p. ej., debido a la producción de anticuerpos de un nuevo tipo) es una nueva cualidad del organismo como totalidad y debe considerarse así un proceso de desarrollo.

En suma, "desarrollarse" y "estar vivo" pueden ser coextensivos, aunque no necesariamente. No podemos decir, de esta manera, que todos los organismos continúan desarrollándose mientras están vivos, aun cuando algunos de sus subsistemas experimentan procesos de desarrollo. En otras palabras, la historia de vida de un organismo no necesariamente es un largo proceso de desarrollo, llamado a menudo *ontogenia*. ¿Qué hay, entonces, del término 'ontogenia'? Etimológicamente, los términos 'onto*genia*' u 'onto*génesis*' implican desarrollo, y son usados así a menudo para designar el concepto de "la historia de vida de un organismo como un largo desarrollo". Según acabamos de ver, este concepto no es necesariamente atribuible a todos los organismos, por lo cual evitaremos el término 'ontogenia' y, siempre que sea necesario, distinguiremos, por un lado, el "desarrollo" de acuerdo con la definición 8.2 y, por el otro, la "historia de vida" (o "ciclo de vida".) Finalmente, lo que vale para el término 'ontogenia' también vale para la palabra *epigénesis*, que consideramos sinónimo de 'desarrollo'.

8.1.2 *Tipos de procesos de desarrollo*

En general, los procesos de desarrollo se dividen en tres tipos: crecimiento, diferenciación y morfogénesis. Esta partición distingue antes que nada diferentes aspectos del desarrollo, no necesariamente procesos separados, porque el crecimiento, la diferenciación y la morfogénesis a menudo tienen lugar combinados entre sí. Los procesos (o mecanismos) en particular en estas tres clases de procesos son, si se conocen del todo, tan diferentes entre sí que surge la pregunta de en qué aspecto, si es que hay alguno, son equivalentes. Así, podemos tratar de caracterizarlos sólo en términos muy generales, esto es, fenomenológicos. (Para un análisis anterior de estos tipos de procesos, véase, p. ej., Waddington, 1970.)

8.1.2.1 Morfogénesis

La misma palabra 'morfogénesis' sugiere un proceso mediante el cual lo amorfo (p. ej., un huevo) adquiere una forma definida (o figura, o patrón espacial.) Si bien esto es así en los niveles físico y químico, como en el caso de la generación de ondas en un fluido homogéneo o el crecimiento de cristales en soluciones, no lo es en el nivel biótico. Aquí, los procesos morfogenéticos son aquellos en que nuevas formas emergen de las viejas. Como sabemos ahora, los huevos y cigotos son biosistemas intrincadamente estructurados, no masas de citoplasma amorfas u homogéneas. Es interesante que, los huevos de animales más complejos, como los mamíferos, son menos estructurados que los huevos de muchos animales menos complejos, como los erizos de mar. (Para detalles véase cualquier libro de texto de biología del desarrollo, p. ej., Gilbert, 1994.)

La morfogénesis se define a veces como un cambio en la forma geométrica de un biosistema. Esta definición, sin embargo, es demasiado restrictiva, porque un biosistema no necesariamente cambia su forma total cuando se forman nuevas "estructuras", o, mejor dicho, subsistemas. Es más, las formas, figuras o estructuras no existen en sí mismas: sólo hay biosistemas con figuras y estructuras (p. ej., células, tejidos, órganos, organismos), por lo que cualquier cambio de forma involucra un cambio de un biosistema dado (o cualquiera de sus subsistemas.) Por lo tanto, proponemos:

DEFINICIÓN 8.3. Un proceso de desarrollo de un biosistema *b* es un proceso de *morfogénesis* si y sólo si *b* adquiere una *nueva* forma (externa) o una *nueva* estructura (interna) a través de la formación de al menos un *nuevo* subsistema, es decir, uno que no existía antes del inicio del proceso –o a través de la pérdida de uno existente.

DEFINICIÓN 8.4. La *morfogénesis* de un biosistema *b* es el conjunto de todos los procesos morfogenéticos de *b*.

De acuerdo con estas definiciones, el concepto de morfogénesis es una restricción del concepto ontológico de autoorganización (véase la definición 1.10) con

referencia a los biosistemas. Podría entonces denominársele mejor *biomorfogénesis*. Aunque de esta manera es menos general que el concepto ontológico correspondiente, aún es fenomenológica en el sentido de que no se refiere a mecanismo biomorfogenético específico alguno, tal como la influencia de morfógenos sobre el metabolismo celular. Sin embargo, revelar los mecanismos de la morfogénesis es aún una de las tareas más formidables de la biología del desarrollo. (Más información sobre mecanismos morfogenéticos en Odell *et al.*, 1981; Wessells, 1982; Goodwin *et al.*, eds., 1983; Gilbert, 1994; Gurdon *et al.*, 1994; Hess y Mikhailov, 1994; Tabony, 1994.)

8.1.2.2 Diferenciación

Un buen ejemplo de morfogénesis en cnidarios (pólipos y aguamalas) es el desarrollo de una célula intersticial en un cnidoblasto. Según el lenguaje ordinario, podríamos estar tentados a decir que éste es un caso donde una célula (comparativamente) *indiferenciada* se *diferencia* en una célula filamentosa. Sin embargo, este hábito de lenguaje sugiere que morfogénesis es lo mismo que diferenciación, lo cual no es así. Esto porque "diferenciación" es un concepto relacional: presupone la existencia de una población de sistemas (o subsistemas de un sistema) cuyos miembros se vuelven (o pueden volverse) diferentes uno de otro. En otras palabras, "diferenciación" implica "diversificación". Así, el hecho de que una célula dada en un estado *s* pueda estar en un estado *s'* muy diferente en un tiempo posterior es ante todo un ejemplo de morfogénesis, no necesariamente de diferenciación. (Dicho sea de paso, el grado de diversidad dentro de una célula a menudo disminuye cuando ésta se especializa al sufrir un proceso morfogenético.) La diferenciación real ocurre cuando dos sistemas que son parte de una totalidad (es decir, un sistema, agregado o población) se vuelven *diferentes uno del otro*, esto es, cuando experimentan morfogénesis diferenciales. De acuerdo con esto, introducimos:

DEFINICIÓN 8.5. Un proceso de desarrollo en un biosistema *b* es un proceso de *diferenciación* (o *diversificación*) si, y sólo si, el número de tipos de subsistemas en *b* y, por lo tanto, el número de funciones específicas en *b*, aumenta. (Para la noción de función específica, véase la definición 4.8.)

Aunque muchos procesos de desarrollo son irreversibles, a veces puede ocurrir el proceso inverso de *dediferenciación*, tal como en algunos casos de regeneración y en la formación de tumores. Por analogía con la definición 8.5, un proceso de dediferenciación en un biosistema puede definirse como la submergencia de subsistemas y una correspondiente disminución en el número de funciones específicas. Como en el caso de la morfogénesis, distinguimos explícitamente entre un proceso en particular y una clase de procesos formulando:

DEFINICIÓN 8.6. La *diferenciación* (u *holodiferenciación*) de un biosistema *b* es el conjunto de todos los procesos de diferenciación en *b*.

(El término 'holodiferenciación' se tomó de Grobstein, 1962.) Ocasionalmente, el término 'diferenciación' se usa sólo para denotar la generación de diversidad celular dentro de un organismo multicelular (véase, p. ej., Gilbert, 1988.) Sin embargo, la diferenciación también ocurre en niveles más altos en un organismo multicelular, por ejemplo, en particular en los niveles de tejidos y órganos. Si se hace necesaria la distinción de niveles de diferenciación dentro de un organismo multicelular, podemos hablar, por ejemplo, de 'citodiferenciación', 'histodiferenciación' y 'organodiferenciación'.

8.1.2.3 Crecimiento

Crecimiento es, en el sentido más general, un aumento en el tamaño de un sistema. Ahora bien, un biosistema puede aumentar de tamaño mediante diferentes mecanismos. Una simple célula o las células de un organismo multicelular pueden, por ejemplo, meramente absorber agua. Otro mecanismo de crecimiento es la división –o, mejor dicho, multiplicación– celular, siempre que las células hijas continúen conectadas entre sí y sean del mismo tamaño que la célula madre. El que no siempre sea así puede verse en la embriogénesis temprana, cuando el cigoto sólo se divide en blastómeros cada vez más pequeños. Así, pese a la multiplicación celular, la blástula temprana tiene el mismo tamaño que el cigoto –de ahí el término *clivaje*. No importa qué mecanismos específicos estén relacionados, alguna incorporación de moléculas desde el exterior y síntesis de moléculas en el interior deben tener lugar si ha de aumentar el tamaño del biosistema. (Las condiciones mínimas para el crecimiento parecen ser la captación de agua y el agrandamiento de la membrana celular.) Esto sugiere definir el *crecimiento* como sigue:

DEFINICIÓN 8.7. Un biosistema b experimenta un proceso de *crecimiento* durante un intervalo de tiempo τ si y sólo si las tasas de captación y síntesis de moléculas en b durante t son mayores que las de degradación y salida de moléculas durante el mismo período.

En otras palabras, un biosistema crece mientras el anabolismo supere al catabolismo (von Bertalanffy, 1952). Claramente, el resultado observable de este proceso es un aumento en el tamaño del biosistema. Sin embargo, el aumento de tamaño es un cambio cuantitativo, no cualitativo. Aunque el cambio cuantitativo puede llevar al cambio cualitativo en algunos casos (p. ej., una pequeña nube puede crecer lo suficiente como para convertirse en lluvia, y los fragmentos de ciertos metales suficientemente enfriados pueden volverse repentinamente superconductores), esto no necesariamente vale para todos los casos. Así, el "crecimiento", si se define de una manera tan general, no necesariamente puede considerarse referente a un proceso de desarrollo según la definición 8.1. Resulta entonces necesario distinguir el crecimiento cuantitativo, es decir, el mero aumento de tamaño, del crecimiento cualitativo o de desarrollo, esto es, el crecimiento que resulta en la emergencia de nuevas propiedades. Dilucidamos este último concepto mediante:

DEFINICIÓN 8.8. Un biosistema b experimenta un proceso de *crecimiento asociado al desarrollo* durante un intervalo de tiempo $[t, t']$, donde $t < t'$, si y sólo si

(i) b crece y la incorporación o síntesis de moléculas en b durante $[t, t']$ involucra moléculas de una especie no presente en b antes de t; es decir, si involucra un cambio en la composición química de b; o

(ii) el crecimiento de b durante $[t, t']$ se combina con un proceso morfogenético.

Por analogía con las definiciones 8.4 y 8.6, finalmente podemos definir el crecimiento y el crecimiento asociado al desarrollo de un biosistema como el conjunto de todos sus procesos de crecimiento y de crecimiento asociado al desarrollo, respectivamente.

Luego de esta breve incursión en los fundamentos de la biología del desarrollo teórica, aboquémonos a algunos de sus problemas filosóficos.

8.2 PREFORMACIONISMO *VERSUS* EPIGENETICISMO

La biología del desarrollo se ha visto al mismo tiempo inspirada y plagada por dos marcos teóricos aparentemente antitéticos, de una naturaleza parcialmente filosófica y parcialmente científica: preformacionismo y epigeneticismo. La idea básica del *preformacionismo* es que la formación de nuevos rasgos durante el desarrollo es sólo aparente: consiste meramente en desplegar o desenrollar caracteres preformados en el germen (es decir, el espermatozoide, el óvulo o el cigoto.) En contraste, la idea básica del *epigeneticismo* es que no hay tal forma preexistente: que el desarrollo consiste en la emergencia de caracteres genuinamente *nuevos* a partir de un germen *desestructurado, informe* u *homogéneo*. Como tanto el enfoque preformacionista como el epigeneticista pueden aún encontrarse en la moderna biología del desarrollo, valdrá la pena mostrar brevemente las concepciones tradicionales antes de proceder a examinar los presupuestos filosóficos de la moderna biología del desarrollo.

8.2.1 *Preformacionismo tradicional*

Anaxágoras (499-428 a.C.) fue aparentemente el primero en formular una hipótesis preformacionista en relación con el desarrollo. Creía que todas las partes del hijo estaban preformadas en el semen paterno (Jahn, 1990). Esta idea fue revivida en el siglo XVII por los primeros microscopistas, quienes estuvieron en condiciones de estudiar la embriogénesis en estadios de desarrollo que hasta entonces no habían sido accesibles a la observación. Así, los estudios de Malpighi sobre embriones de pollo y las observaciones de Swammerdam del desarrollo de ranas e insectos mostraron que el embrión ya estaba dotado de cierta forma, y por lo tanto no era una masa homogénea. Por supuesto, esto no vale para los primeros es-

tadios, en los cuales algunos investigadores habían, sin embargo, "encontrado" forma. Por ejemplo, aún en el siglo XVIII, von Haller creía que había observado membranas embrionarias en el huevo de gallina. De igual modo, el descubrimiento de de Graaf de los folículos de los ovarios, y las investigaciones de van Leeuwenhoek, Ham y Hartsoeker sobre espermatozoides, apenas pudieron mostrar estructura adulta. Sin embargo, dos factores parecen haber contribuido a encontrar forma donde no había ninguna: el primero fue la imperfección de los primeros microscopios, que fácilmente ocasionaba ilusiones ópticas, y el segundo fue la imaginación. Un ejemplo de imaginación vívida es la famosa figura de Hartsoeker de un homúnculo preformado en un espermatozoide, que a menudo se usa no sólo para caracterizar al preformacionismo, sino para caricaturizarlo.

Sin embargo, Gould (1977) ha argüido que no todos los preformacionistas eran tan ingenuos como lo sugiere esta caricatura del homúnculo. Parece apropiado, entonces, distinguir dos versiones del preformacionismo tradicional: fuerte o ingenuo, y débil o crítico. El homúnculo de Hartsoeker ejemplifica el preformacionismo ingenuo: se asumía que los rasgos del organismo adulto se hallaban enteramente preformados en el espermatozoide o el huevo. En otras palabras, se creía que éstos contenían adultos en miniatura. En cambio, la opinión preformacionista de investigadores como Malpighi y Bonnet era mucho más sofisticada: es una versión del preformacionismo crítico. De hecho, ellos sabían perfectamente que, por ejemplo, el embrión de pollo, en los estadios iniciales, se vuelve menos y menos estructurado, hasta que finalmente aparece como una "homogeneidad transparente" (Gould, 1977). Además, asumir la existencia de partes preformadas que posteriormente sufren un crecimiento y reordenamiento no es lo mismo que asumir la de un adulto en miniatura completamente preformado. Siendo realistas y no fenomenalistas, los preformacionistas críticos conjeturaban que el embrión temprano, aunque pequeño y transparente, debía tener rasgos que simplemente no podían observarse con los microscopios de esa época. Así, Bonnet (1762, vol 1:169) argumentaba:

> Ne jugeons donc pas du tems où les Êtres organisés ont commencé à exister, par celui où ils ont commencé à nous devenir visibles, & ne renfermons pas la Nature dans les limites étroites de nos Sens & de nos Instruments. [No se marque el tiempo en que los seres organizados comienzan a existir como aquel en que comienzan a resultar visibles; y no se restrinja la naturaleza a los estrictos límites de nuestros sentidos e instrumentos (Gould,1977:20)].

Aunque basado parcialmente en observaciones erróneas, el preformacionismo tradicional estaba lejos de ser una pieza de fantasía. De hecho, en su época era una tesis filosófica y científicamente respetable. Filosóficamente, concordaba con el concepto de armonía preestablecida de Leibniz, que a su vez se basa en la perspectiva creacionista de su tiempo. Incluso el anatomista Peyer argüía que, como Dios es el único creador, no puede atribuirse a la materia la capacidad de crear novedad cualitativa sin alguna forma previamente implantada, la *idea realis* (Jahn,

1990). Es más, el preformacionismo era compatible con la cosmovisión mecanística predominante, que también excluía la emergencia de la novedad cualitativa asumiendo que todo cambio puede reducirse a causas y efectos mecánicos, y adoptando el principio *causa aequat effectum*. Desde un punto de vista científico, el preformacionismo era capaz de explicar la continuidad, especificidad y fidelidad del desarrollo, tal como el hecho de que las bellotas dan origen a robles, no ranas o elefantes. En otras palabras, ayudaba a explicar la constancia de las especies. Es más, el preformacionismo excluía la generación espontánea, que entonces fue descartada por las investigaciones de Redi, y posteriormente por las de Spallanzani.

Por supuesto, el preformacionismo prohíbe la evolución en el sentido moderno. Sin embargo, el término 'evolución' ya se encontraba en uso entre los preformacionistas del siglo XVIII (p. ej., Bonnet, 1762); pero entonces denotaba el desarrollo, que se consideraba el despliegue o desenrollamiento (*evolutio*) de partes preformadas. Otro sinónimo de 'preformación' es *emboîtement* (*encapsulamiento*, *Einschachtelung*.)

8.2.2 *Epigeneticismo tradicional*

El epigeneticismo tradicional ha estado entre nosotros al menos desde Aristóteles. En el siglo XVII fue adoptado, por ejemplo, por Harvey. Su resurrección en el siglo XVIII fue una clara reacción contra el predominio del preformacionismo a fines del siglo XVII y principios del XVIII (Jahn, 1990). La influencia del empirismo y la generalización del método experimental trajeron hallazgos que llevaron a muchos embriólogos a poner en tela de juicio la veracidad del preformacionismo. Primero, se vieron huevos y espermatozoides como aparentaban ser: desestructurados y homogéneos. Segundo, los experimentos sobre regeneración -entre los que destacaron los de Trembley con el pólipo dulceacuícola *Hydra*, en el que se demostraba que ciertas partes separadas del organismo progenitor podían crecer nuevamente para formar organismos completos- resultaban incompatibles con el preformacionismo estricto. (Sin embargo, Bonnet trató de salvar al preformacionismo suponiendo que existían partes preformadas en todo el organismo, no sólo en los gametos. Por ejemplo, sostenía que "une Branche naissante est un Arbre en miniature" [1762, vol. 1:178].) Tercero, el preformacionismo no podía explicar claramente la existencia de híbridos y de algunas malformaciones. (Bonnet trató de explicar ciertas malformaciones suponiendo que, por ejemplo, una presión anormal sobre las partes preformadas en el germen, delicadas y aún blandas y gelatinosas, podía fácilmente resultar en distorsiones de la forma y las proporciones. Incluso llegó a la conclusión de que, considerando la delicadeza de las miniaturas germinales, resulta sorprendente que los monstruos no sean más comunes de lo que en realidad son [1762, vol. 2].) A pesar de los cuidadosos intentos de defensa del preformacionismo como los de Bonnet, la mayoría de los embriólogos se cambió al epigeneticismo a partir de mediados del siglo XVIII, en

particular bajo la influencia de la obra científica de Caspar Friedrich Wolff.

Sin embargo, había un serio problema con el epigeneticismo. Si el huevo es realmente desestructurado y homogéneo, ¿cómo se explica la continuidad y especificidad del desarrollo, y de dónde viene la creciente complejidad del desarrollo de los organismos? Para responder a esta pregunta, los epigeneticistas debieron postular la existencia de alguna fuerza no observada capaz de dirigir y guiar el desarrollo. Así, el epigeneticismo invita al vitalismo. Por ejemplo, Aristóteles hizo uso de su concepto de *entelequia*, Wolff asumió una *vis essentialis*, Blumenbach postuló un *nisus formativus* (o *Bildungstrieb*) y Buffon estipuló una *force pénétrante*.

Como en la actualidad el vitalismo es acertadamente rechazado por considerársele una postura anticientífica desprovista de poder explicativo, deberíamos señalar que en el siglo XVIII el vitalismo tuvo dos versiones: una variedad animista y una "materialista", y esta última ha de considerarse una hipótesis científicamente respetable en su época. La versión animista, que ha sido llamada *psicovitalismo*, se debe a Georg Ernst Stahl, quien en 1708 postuló una entidad no material semejante al alma como la fuerza que dirigía los procesos vitales. El psicovitalismo fue especialmente popular en Francia, y lo adoptó la escuela médica antimecanicista de Montpellier (Jahn, 1990). En contraste, se pensaba que las fuerzas vitales que plantearon Blumenbach, Buffon, Kielmayer y Reil eran fuerzas *físicas* análogas a la fuerza gravitacional de Newton. En particular, la opinión de Reil prácticamente sostuvo que una fuerza autoorganizadora es una propiedad emergente de los sistemas vivientes (Lenoir, 1982). En suma, el vitalismo materialista era consistente con la perspectiva naturalista del siglo XVIII, y por lo tanto no era una suposición gratuita. Además, a diferencia de su rival animista, era testeable y eventualmente fue abandonada a mediados del siglo XIX, luego de que von Helmholtz demostró que no había evidencia de una fuerza vital más allá de las fuerzas físicas conocidas en la época, y no había necesidad de presuponer una.

8.2.3 *Preformacionismo moderno o neopreformacionismo*

Aunque virtualmente muerto después del triunfo del epigeneticismo a fines del siglo XVIII y en el siglo XIX, el preformacionismo volvió a surgir en una versión moderna a mediados del XX. Con el advenimiento de la biología molecular, en particular desde el análisis de la composición y estructura del material genético en 1953, el preformacionismo vuelve a estar en boga. Sin embargo, en su versión moderna los adultos en mimiatura encapsulados o las partes morfológicas preformadas han sido remplazadas por "instrucciones codificadas" (Gould, 1977; Grant, 1978). El neopreformacionismo, entonces, es esencialmente informacionismo genético aplicado al desarrollo.

Por otra parte, en su versión fuerte, el neopreformacionismo es una forma de determinismo genético, por lo tanto un microrreduccionismo. En esta opinión, se asume que una entidad llamada 'información genética' o 'programa genético' contiene todas las "instrucciones" para el desarrollo, determinando el tiempo y

los detalles de la formación de cada célula, tejido y órgano, y por lo tanto la morfogénesis y diferenciación del organismo entero. Así, "el organismo es visto como un epifenómeno de sus genes, y la embriología se reduce al estudio de la expresión génica diferencial" (Gilbert, 1988:812) –esto es, a la genética del desarrollo. Además, en el neopreformacionismo "el organismo desaparece efectivamente de la biología como entidad fundamental, y es remplazado por una colección de causas suficientes en el genoma: esto es, el fenotipo es reducible al genotipo" (Goodwin, 1984:224). Esta posición reduccionista se ajusta elegantemente a la forma genético-poblacional de la Teoría Sintética, que identifica a la evolución con el cambio de las frecuencias génicas en las poblaciones, y a la selección con la replicación diferencial de genotipos. En su versión extrema, el neopreformacionismo es una forma de platonismo absoluto: "un gen no es una molécula de ADN; es la información transcriptible codificada por la molécula" (G.C. Williams, 1992a:11). Examinemos más de cerca el informacionismo genético.

8.2.3.1 Informacionismo genético

> Las metáforas [...], en que abundan algunas ramas de la biología, a menudo son sugestivas y tal vez suficientemente inocuas si se les reconoce como lo que son. Pero a lo sumo son improvisaciones y sustitutos de enunciados biológicos genuinos, y el hecho de que se recurra a ellas es indudablemente un signo de inmadurez (Woodger, 1952:8).

Uno de los principales problemas con el informacionismo genético radica en la misma palabra 'información', tan ambigua que se le utiliza en la literatura científica contemporánea en al menos media docena de maneras diferentes (Bunge y Ardila, 1987):

–información_1 = significado (información semántica)
–información_2 = señal
–información_3 = mensaje transportado por una señal codificada en pulsos
–información_4 = cantidad de orden (neguentropía) de un sistema
–información_5 = conocimiento
–información_6 = comunicación de información_5 (conocimiento) mediante conducta social (p. ej., habla) que involucra una señal (información_2)

Dados todos estos sentidos diferentes de la palabra 'información', no debería sorprender que se haya convertido en un término para todo uso. Suena muy científica y aparentemente indica una percepción profunda, pero a menudo no es sino un disfraz de la ignorancia que invita a la gente a proceder de acuerdo con la regla: "Si no sabes lo que es, llámalo información". Pues, ¿qué cosa, si la hay, es información genética?

Comencemos con las nociones relacionadas con la teoría clásica de la información: "información_2" e "información_3". Estos conceptos no se aplican al ADN porque presuponen un sistema de información genuino, compuesto de un codifica-

dor, un transmisor, un receptor, un descodificador y un canal de información, tales componentes no aparecen en un sistema químico (Apter y Wolpert, 1965). Describir procesos químicos ayudándose con metáforas lingüísticas tales como "transcripción" y "traducción" no altera la naturaleza química de estos procesos. Después de todo, una reacción química no es una señal portadora de un mensaje. Es más, aunque existiera algo como una transmisión de información entre moléculas, ésta aparecería casi sin ruido (es decir, sustancialmente no aleatoria), de manera que el concepto de probabilidad, que es central para la teoría de la información, no se aplica a este tipo de presunta transferencia de información. En verdad, el concepto de probabilidad no aparece en consideraciones sobre el rol de los ácidos nucleicos en la síntesis de proteínas. En resumen, pese a muchas aseveraciones de lo contrario, la expresión 'información genética' no tiene relación con el concepto de información, tal como se define rigurosamente en la teoría estadística de la información.

Con referencia a la "información$_4$", algunos autores han intentado estimar no sólo la cantidad de información encerrada en el material genético, sino también la información que contienen sistemas vivientes enteros. El método para estimar la cantidad de información en un biosistema consiste esencialmente en enlistar todas las instrucciones necesarias para especificar cómo podría un ser racional ensamblar un biosistema dado a partir de sus componentes. De esta manera, se puede obtener una estimación de alrededor de 5×10^{25} bits de información contenidos en un ser humano adulto (Dancoff y Quastler, 1953). El problema con este procedimiento, sin embargo, es que depende de manera muy importante de qué componentes se elijan como bloques de construcción: partículas elementales, átomos, moléculas, organelos, células, tejidos u órganos. Por consiguiente, el contenido de información del sistema dado diferirá. Así, tomando átomos como componentes en vez de moléculas, Dancoff y Quastler llegaron a una estimación de 2×10^{28} bits para los seres humanos adultos. Pero si se supone que tales números miden el grado de orden (o neguentropía) de un sistema en un tiempo, que es una propiedad intrínseca del sistema, la cantidad de información no puede variar con el nivel de análisis, y entonces sólo puede tener un valor único. Por lo tanto, tales números no miden una propiedad objetiva del sistema en cuestión. Lo que puede considerarse que miden es *nuestro conocimiento* de la composición y organización de los biosistemas. Así, decir que una biomolécula contiene en promedio n bits de información significa que *nosotros* necesitamos toda esa información para especificar, caracterizar o describir los elementos esenciales mínimos de esa especie molecular: nada dice sobre el proceso de síntesis de tales biomoléculas. Esto es, confunde epistemología con ontología.

En suma, cualquier cálculo de la cantidad de información del material genético o de organismos enteros es engañosa, tanto, que ninguna aparece en ningún enunciado legal biológico, y quien quiera puede dar su propia estimación arbitraria sin temor a que sea refutada (Apter y Wolpert, 1965; Bunge, 1979a, 1985b; Levins y Lewontin, 1985; Oyama, 1985). Sin embargo, los creyentes aún están allá afuera, y en realidad parecen constituir la mayoría (véase, p. ej., Brooks *et al.*, 1989).

Aunque algunos autores rinden pleitesía verbal a tal informacionismo computacional, no es lo que la mayoría de los biólogos tiene en mente cuando se habla de información genética. Con objeto de mostrar esto supongamos, para los fines del argumento, que tiene sentido hablar del contenido de información$_4$ de una biomolécula. Entonces, por ejemplo, dos segmentos diferentes de ADN (o genes) pueden tener el mismo contenido de información, digamos 1 000 bits. Esto es, la información$_4$ de ambos genes es idéntica. Sin embargo, como son dos genes diferentes, están involucrados en la síntesis de dos proteínas diferentes. En otras palabras, al tener diferentes roles específicos, contienen "informaciones" diferentes –lo que contradice el supuesto de que su contenido de información es el mismo. Obviamente, esta contradicción deriva de un equívoco: lo que la mayoría de los biólogos tiene en mente no es información$_4$, sino información$_1$, es decir, información en el sentido de significado, o información$_5$, en el sentido de conocimiento o incluso instrucción.

Desafortunadamente, esto empeora el problema en vez de solucionarlo. Primero, "significado" es un concepto semántico, no químico (véase sección 2.3). Un proceso bioquímico puede producir muchas cosas, pero no produce significado. En particular, los productos de una reacción química no dotan a ninguno de los reactivos de significado, aun si hay una correspondencia legal entre unas moléculas que actúan como matriz y otras que son resultado de una reacción matriz-dependiente. Segundo, la capacidad para formar conceptos semánticos presupone la existencia de cerebros altamente evolucionados, que obviamente no son componentes del material genético. Así, la expresión 'el significado de la información genética' sólo puede ser una metáfora. Lo mismo vale para la información en el sentido de conocimiento: no hay conocimiento de ningún tipo fuera de algún cerebro (recuérdense los capítulos 3 y 6).

Al término 'instrucción' no le va mejor. Las instrucciones son reglas u órdenes. Así, hablar de instrucciones "codificadas" en moléculas tiene sentido sólo bajo el supuesto de que hay un ser racional capaz de concebir las reglas y expresarlas en forma simbólica. Esto es, la noción de instrucción presupone intencionalidad o propósito. Es más, al ser imperativas, las instrucciones pueden ser fuentes de paradoja, tal como la instrucción autorreferente "¡Violen esta instrucción!". La paradoja, sin embargo, es un ítem lógico, no químico: ciertos segmentos de ADN funcionan o no como matrices moleculares en la célula. En resumen, en biología molecular, "instrucción" también es una metáfora. (Véase Weiss, 1970, 1973; Oyama, 1985.)

Si el uso de la noción de instrucción es ilegítimo en biología molecular, también lo es la noción de programa –que no es sino una secuencia o quizás un sistema de instrucciones. La analogía con programas de computadora no resulta aquí de ninguna ayuda. Por ejemplo, un disquet de computadora no contiene un programa en sentido literal. En realidad un disquet es una pieza de materia estructurada capaz de interactuar conforme a leyes con otros sistemas materiales, como ocurre en un sistema computadora-usuario. Un programa de computadora sólo lo es en virtud de su relación con un programador o usuario, junto con

sus intenciones. La representación simbólica externalizada de las instrucciones sobre un objeto material no es lo mismo que el programa en sí. Éste, al igual que un teorema, existe sólo en el cerebro del programador. No sorprende, entonces, que más y más biólogos y biofilósofos comiencen a darse cuenta de que el programa genético es "un objeto que no se encuentra en ninguna parte" y "una entidad investida con poderes ejecutivos, que no existe" (Moss, 1992:335).

Otra metáfora informacionista o preformacionista es la de plano. Esta idea puede descartarse rápidamente considerando que la noción de plano implica que hay alguna semejanza estructural entre el plano y el objeto que mapea. Aunque hay una correspondencia entre la secuencia de bases de un gen dado y la secuencia de aminoácidos de un polipéptido dado, no hay semejanza entre la estructura del ADN y la de la vasta mayoría de los caracteres fenotípicos de los organismos. *Pace* Stent (1981), que criticó la metáfora del programa basado en que un programa sería isomórfico con la "obra representada", no hay tal correspondencia involucrada en la noción de programa, porque éste es un conjunto (simbólico) de instrucciones, no un mapa o cuadro. En resumen, los programas no son planos.

Finalmente, consideremos la noción de código genético. Un código genuino es cierta correspondencia entre dos conjuntos de signos -y más específicamente *lenguajes-artificiales* (Birkhoff y Bartee, 1970). Esto es, "código" es un concepto lingüístico, no químico. Además, las funciones de codificación y de descodificación de códigos sin errores son uno a uno, no varios a uno como en la correspondencia codón (triplete)-aminoácido. Lo que en realidad tenemos aquí es una correspondencia entre (una parte de) una molécula de composición y estructura dadas, y otra molécula de composición y estructura diferentes. Aunque esta correspondencia pueda, por supuesto, *denominarse* 'código' por conveniencia, es obvio que puede decirse que los genes codifican, a lo sumo, nARN o mARN, pero nada más. Particularmente, no pueden codificar nada que suceda después de que las moléculas de nARN o mARN hayan sido sintetizadas. En otras palabras, cualquier proceso bioquímico subsiguiente, tal como el procesamiento de ARN o la síntesis de proteínas, y *a fortiori* la morfogénesis, no está "en los genes". Así, las expresiones populares de la forma 'el gen *x* codifica el rasgo *y*' son inobjetables sólo si se entienden en el sentido 'el gen *x* es una matriz del mARN *z*, que es necesario para el proceso (asociado al desarrollo) que termina en el rasgo *y*'. Pero en cualquier caso, hacemos hincapié en que el uso de nociones lingüísticas y teleológicas para describir los procesos bioquímicos involucrados en la síntesis de proteínas carece de poder explicativo, no importa cuán útil pueda ser desde el punto de vista didáctico para entender estos procesos (véase también Maynard Smith, 1986:100).

Resultará obvio a partir de las consideraciones precedentes que 'información genética' no puede designar ninguno de los conceptos de información enlistados. Como Lwoff (1962:94) propuso hace tiempo, "para el biólogo, 'información genética' se refiere a una estructura real dada u orden del material hereditario, y no a la entropía negativa de esta estructura". Por lo tanto, 'información genética' puede referirse sólo a la composición y estructura específicas del material genético. Si se usa en este sentido, es legítimo continuar hablando de información genética.

Sin embargo, considerando los estragos que los diferentes sentidos de la palabra 'información' han causado dentro y fuera de la comunidad científica, urgimos a dejar de hablar en términos de información en biología molecular y del desarrollo. (Sin embargo, una noción general de información en el sentido de representación resulta útil para muchos propósitos, pero necesita dilucidarse apropiadamente: véase Kary, 1990.) Por lo tanto, expresiones tales como 'molécula de información', 'flujo de información', 'transcripción' y 'traducción' son puramente analógicas, y deberían remplazarse por expresiones estrictamente físicas, químicas o bioquímicas en cualquier teoría que pretenda explicar la síntesis y replicación de los ácidos nucleicos, así como la síntesis de proteínas. Después de todo, los biólogos moleculares tratan con moléculas, no con símbolos o letras. El carácter "iluminador" de muchas metáforas lingüísticas en biología molecular surge del hecho de que las analogías facilitan nuestra comprensión (o mejor dicho, sentido de familiaridad) que, como se recordará de la sección 3.6, es una categoría psicológica. Por otro lado, sin duda alguna proveen un lenguaje cómodo, plagado de elipsis y metáforas. Sin embargo, debe enfatizarse una y otra vez que no tienen poder explicativo en sentido metodológico. En otras palabras, los hábitos cómodos de lenguaje y familiaridad por analogía no pueden remplazar a la explicación científica.

Si no hay transferencia de información del ADN a las proteínas, y ninguna instrucción en sentido literal, entonces ¿cómo explicamos la morfogénesis y diferenciación en los organismos? ¿No resulta obvio, después de todo, que -por ejemplo- debe transferirse de alguna manera, una "membritud" u "oftalmidad" preformadas, preexistentes o codificadas, desde el genoma a los tejidos en desarrollo, y eventualmente al organismo? Como veremos a continuación, esta intuición es tan errónea (e innecesaria) como la creencia de que hay una transferencia de "información" entre personas que se comunican (recuérdese sección 3.1.3).

8.2.3.2 ADN: ¿El *primer motor* del desarrollo?

Suponer que el biólogo molecular admite que las metáforas lingüísticas e intencionales deben ser eliminadas del vocabulario bioquímico no necesariamente afecta la perspectiva básica del reduccionismo y el determinismo genético. El material genético aún podría considerarse la primera causa del desarrollo: "ex DNA omnia" (Wolpert, 1991:77). Mostraremos que, dado lo que se conoce sobre regulación génica (véase, p. ej., Gilbert, 1988, 1994; Moss, 1992; Portin, 1993), esta posición sólo puede sostenerse privilegiando ilegítimamente un factor en una red de factores interactuantes.

Primero, apenas puede decirse que el ADN sea una *prima causa* o un *primum movens*, ya que es una molécula comparativamente inerte que no hace nada por sí sola (Weiss, 1973; Lenartowicz, 1975; Fox, 1984; Lewontin, 1991, 1992a; Smith, 1992a; Hubbard y Wald, 1993). Sólo "se sienta" en el núcleo (o en otra parte), es más, protegido sin riesgo por proteínas histónicas en eucariotas, y "espera" que algunas otras moléculas actúen sobre él. En particular, la atribución popular de

la propiedad de autorreplicación es errónea y engañosa. El ADN no se autorreplica; *es replicado* por otras moléculas involucradas en el metabolismo celular, es decir, ciertas enzimas. El hecho de que la copia de un trozo de ADN sea -mutaciones aparte- equivalente en composición y estructura ("idéntica") a su molde no da cuenta del proceso de replicación mismo. Aunque parezca trivial, debemos hacer hincapié en este estado de cosas, considerando que frecuentemente se representa a los genes como agentes causales y componentes activos de las células.

Segundo, de acuerdo con nuestra concepción de la causación, no puede decirse que el ADN sea la *causa* del desarrollo. No hay "poder causal" de los genes o alelos -*pace* Sterelny y Kitcher (1988) y Gifford (1990). En realidad, como se recordará de la sección 1.9, la relación causal se define para pares de eventos (cambios de estado), no para cosas. Por esta razón, no podemos admitir *causae materiales*, sino sólo *causae efficientes*. Los genes son siempre condiciones del desarrollo, nunca causas. Aclaramos: son condiciones necesarias, y tienen poder codeterminativo, pero ningún poder causal en absoluto.

Tercero, como (en los eucariotas) el ADN está cubierto por histonas, no está listo para sufrir reacciones químicas sin más. En cualquier caso, los genes no se encienden o apagan por sí mismos: *son* "activados" por moléculas que *actúan sobre* el ADN. (Esto también vale para los procariotas.)

Cuarto, los procesos que siguen a la "activación" de los genes dependen de las circunstancias. Es decir que diferentes células pueden procesar de manera diferente el mismo producto génico primario (esto es, "transcritos", tales como n-ARN o m-ARN). Por ejemplo, aunque sin duda las células del cerebro, hígado y riñones son citológicamente muy diferentes, el n-ARN de esas células en ratas y ratones es casi idéntico. Otro ejemplo es el procesamiento de cierto precursor de m-ARN en células tiroideas y nerviosas. En las primeras, el procesamiento del precursor de m-ARN dará la hormona calcitonina, mientras que en las segundas el resultado es un neuropéptido. Más aún, una vez que una proteína se produce, el efecto determinante del gen subyacente, si lo hay, puede incluso ser evitado. Por ejemplo, una proteína recién sintetizada puede ser inactiva sin modificaciones posteriores, o puede resultar selectivamente inactivada. Otras proteínas funcionan sólo en ciertos lugares dentro de la célula, esto es, primero necesitan ser transportadas a esos lugares. Finalmente, ciertas proteínas deben unirse a otras proteínas para formar una unidad que sea siquiera funcional. (Véase Gilbert, 1988, 1994.)

Quinto, en nuestro sistema inmune la producción de moléculas de anticuerpos específicos implica la creación de *nuevos genes*. Así, durante la morfogénesis y diferenciación celulares, los linfocitos reordenan ciertos genes de inmunoglobulina genéricos, creando cualquiera de entre 10^7 diferentes genes específicos de anticuerpo y por lo tanto proteínas, según se necesite (Gilbert, 1994).

Sexto, el desarrollo de un biosistema depende tanto de ítems ambientales como de su composición y estructura. Por ejemplo, la formación de la tubulina flagelar en el morfo amebiano de Amoeboflagellata es desencadenada por cambios ambientales. Otro ejemplo es la inducción embrionaria, en la cual el desarrollo futuro de una cierta región embrionaria depende de la influencia de las regiones

vecinas. Finalmente, muchos patrones morfológicos debidos a mutaciones pueden ser producidos de manera perfectamente semejante por agentes ambientales, tal como en las fenocopias (Horder, 1989; Hall, 1992). En resumen, no existe el desarrollo en el vacío.

Estos modos diferentes de regulación génica muestran que no hay regulación unidireccional o control del desarrollo del gen al fen. Esto es, hay (muchos) procesos dependientes de los genes, pero no procesos dirigidos por genes. De hecho, lo que sí tenemos es un complejo sistema autorregulado consistente en una red de al menos tres componentes reguladores e interactuantes: material genético, otros componentes celulares (a los que a menudo se hace referencia colectivamente como 'citoplasma') e ítems ambientales. Esta concepción merece expresarse mediante un postulado propio, a saber:

POSTULADO 8.1. Todos los procesos de desarrollo son controlados o regulados a través de la interacción sistémica y legal de (los miembros de) su genoma, su composición extragenómica y su ambiente.

Este postulado implica:

COROLARIO 8.1. No hay un sistema de control exclusivo (o suficiente, o privilegiado) del desarrollo de un organismo, tal como su sistema génico.

Aunque todos estos hechos son bien conocidos por los biólogos y biofilósofos (véanse, p. ej., Woodger, 1952; Kitcher, 1992; Portin, 1993; Lander y Schork, 1994), la mayoría de estos últimos procede usualmente como si sólo uno de estos tres factores necesarios –llámese, el material genético– fuera importante, mientras los otros pudieran relegarse a condiciones estándar. Por ejemplo, el hecho de que ciertos genes resulten incapaces de producir efectos fenotípicos en ciertos individuos se considera un caso de penetración incompleta en vez de uno de irrelevancia óntica –estrategia que deja incólume a la perspectiva preformacionista subyacente. Otro ejemplo es suministrado por Sterelny y Kitcher (1988), quienes intentan salvar la prioridad causal de los genes por medio de la siguiente definición:

Un alelo *A* en un locus *L* en una especie *S* es para el rasgo *P** (que se considera una forma determinada de la característica determinable *P*) en relación con un alelo local *B* y un entorno *E* sólo en caso de que (a) *L* afecte la forma de *P* en *S*, (b) *E* sea un entorno estándar, y (c) en *E* los organismos que son *AB* tienen fenotipo *P** (p. 350).

(Una estrategia similar ha sido propuesta por Gifford, 1990.) Más claramente: al describir el desarrollo de los biosistemas, el entorno a menudo puede considerarse constante, de modo que el gen es la variable, es decir "lo que marca la diferencia". Woodger (1952, p. 186) la denominó 'principio del factor constante'. Pero al mismo tiempo alertó: "... si ... omitimos la referencia al [ambiente]... porque es

constante y común a todos nuestros experimentos, obviamente no debemos caer en el supuesto de que el [ambiente] 'no juega papel alguno' en los procesos involucrados". En verdad, como Gray (1992) ha señalado correctamente, podría formularse una definición similar de *un ambiente para* un rasgo fenotípico, dados genes o genotipos estándar. Es más, como hay otro factor necesario aparte de los genes y el ambiente, a saber, cierta constitución citoplásmica, también podríamos definir una *constitución citoplásmica* para un cierto rasgo fenotípico, dados un genotipo y un ambiente normal. (Véanse también Smith, 1992a; Sterelny *et al.*, 1996.)

Hay que aclarar que a los fines del análisis sí es legítimo comenzar aislando un factor a expensas de los otros -por ejemplo, a fin de simplificar la explicación del desarrollo mediante referencia a la expresión génica diferencial. Es más, este procedimiento se justifica por el hecho de que la mayoría de los genes de un organismo pueden considerarse adaptaciones, mientras que muchos ítems ambientales no. Pero aun así, se vuelve ilegítimo apenas se deja de verlo como una estrategia epistémica simplificadora para considerarlo una afirmación de la prioridad óntica de un factor sobre otro, en una red de factores interactuantes. Como el determinismo genético (o reduccionismo genético) incluyendo el seleccionismo génico, confiere tal prioridad óntica a los genes, es una tesis científica y metafísicamente infundada. En realidad, los límites de las explicaciones del desarrollo en términos de control génico son señalados por unos cuantos biólogos del desarrollo: "Mientras que ningún aspecto de la embriogénesis puede ser enteramente independiente de los productos del genoma, sí puede darse el caso de que el control por los genes sea tan indirecto que el análisis en tales términos pierda poder explicativo útil" (Horder 1983:346).

8.2.3.3 La dicotomía genotipo-fenotipo

Si ha de abandonarse no sólo el determinismo genético sino también las nociones de información genética y programa genético, entonces ha de cuestionarse la tradicional dicotomía genotipo-fenotipo, en la cual el fenotipo de un organismo se considera la "manifestación" o "expresión" de su genotipo (p. ej., Futuyma 1986:43). En realidad, el que los genes en tanto partes de un organismo pertenezcan en realidad a su fenotipo no es un ítem de conocimiento nuevo (véase, p. ej., Woodger, 1952; Lenartowicz, 1975; Brandon, 1990; Lewontin, 1992b). Sin embargo, examinemos brevemente los conceptos de gen, genoma y genotipo, así como los de fenoma y fenotipo. (Para detalles, véase Mahner y Kary, 1997, de quienes nos desviamos con respecto a ciertos puntos conceptuales y terminológicos menores, ya que resultan apropiados en el contexto más amplio de este libro.)

Genoma y genotipo. Un análisis de las nociones de genoma y genotipo evidentemente presupone el concepto de gen. Los términos 'gen' y 'genotipo' fueron propuestos por Johannsen en 1909 para denotar la entidad inobservable transmitida en el proceso de reproducción, cuya única propiedad conjetural parecía consistir en ser alguna "unidad de herencia" (Johannsen, 1913). Vía la caja negra del de-

sarrollo, se presumía que esta entidad transfenoménica se relacionaba *de alguna manera* con alguna propiedad (fenoménica) observable del organismo. Así, las diferencias en propiedades fenoménicas, tales como forma y color, se usaban como indicadores de diferencias en los genes transfenoménicos. La investigación de estos genes por medio de indicadores fenotípicos y la búsqueda de leyes sobre su transmisión y distribución es de lo que trata la genética clásica.

Paradójicamente, cuanto más hemos aprendido acerca del material genético a partir de la genética molecular, menos parecemos saber qué es exactamente un gen (véase, p. ej., Carlson, 1966; Kitcher, 1992; Portin, 1993; Waters, 1994). Según parece, un *gen* en particular es una secuencia individual de ADN (o ARN), continua o no, que de alguna manera se encuentra involucrada en un proceso metabólico, aparte de su propia replicación, en la célula de la que es parte. Así, un gen en particular es delimitado por su secuencia de bases, dependiendo del rol que ésta juegue en el metabolismo del organismo. Dependiendo del nivel de compromiso metabólico, que puede ir de la producción de ARN primario a algún estado final en algún proceso metabólico, diferentes secuencias del mismo trecho de ADN deberán considerarse genes diferentes (Waters, l.c). Esto porque los genes pueden superponerse, contener intrones, ser procesados de manera diferente en procesos metabólicos subsiguientes, etc. Por eso, lo que cuenta como gen depende de las circunstancias; en otras palabras, "gen" es un concepto tanto estructural como funcional.

No importa qué definición de "gen (en particular)" se acepte, ahora debemos distinguir entre un gen individual como una secuencia particular de ADN y una clase o tipo de gen. (Véase también Woodger, 1952.) Cuando los genetistas hablan de un gen "para" este o aquel carácter, usualmente no tienen en mente un fragmento individual de ADN sino la clase de equivalencia de tales genes individuales, esto es, un *tipo* de gen. Así, cuando las publicaciones y comunicaciones informan del descubrimiento de otro *gen para* algún rasgo o enfermedad, en realidad se hace referencia al *tipo* de gen involucrado en el rasgo o la enfermedad, y no a una secuencia individual de ADN.

La distinción obvia entre genes y tipos de gen nos ayuda a aclarar las nociones de genoma y genotipo. Para empezar, tenemos la colección de todos los genes concretos individuales (o alelos), ya sean citoplásmicos, nucleares, mitocondriales o plastídicos, que son partes propias de un organismo: el *genoma total* del organismo. (Véase Bunge, 1985b. Se supone que la calificación 'propias' excluye a los genes de virus y bacterias, así como simbiontes y parásitos eucariotas que pueden ser parte de un organismo en un cierto momento.) Así, el genoma total de un organismo es una colección, no una cosa. Lo que sí sería una cosa es el agregado material de todos los genes (ADN) de una célula u organismo si se extraen y amontonan en un tubo de ensaye. Este agregado concreto debería denominarse más bien 'complemento genético', ya que el término 'genoma' también se usa en un sentido completamente diferente, como veremos más adelante. Lo que también sería una cosa, o más precisamente un sistema génico, son los genes interactuantes en una célula. Sin embargo, lo que usualmente se denomina 'interacción génica' no

se refiere a segmentos de ADN que realmente estén interactuando, sino a la interacción de un producto de un gen con otro gen. Esto porque, como se sostuvo previamente, el ADN es una molécula más bien inerte que apenas hace algo por sí misma. Esto es, la mayoría de las interacciones entre genes son mediadas por metabolitos celulares; por lo tanto, a lo sumo son interacciones indirectas.

Ahora bien, los biólogos no están tan interesados en el genoma o el complemento genético totales de un organismo multicelular. En lugar de eso, a menudo se ocupan sólo de su genoma o complemento genético *celular*, y en particular su *genoma* celular *estándar* o *típico*, en la medida en que éste es representativo de todas las células en el organismo. Después de todo, excluyendo complicaciones tales como mutaciones somáticas o la formación de nuevos genes en las células del sistema inmunológico (véase sección anterior), las células de un organismo usualmente son genéticamente idénticas. Por ejemplo, mientras que el complemento genético total de un ser humano adulto consiste en aproximadamente 10^{20} genes, el genoma humano típico se describe generalmente comprendiendo sólo entre 50 000 y 100 000 genes (National Institutes of Health 1990; Mahner y Kary,1997). El concepto de *genoma típico*, entonces, no es una clase de genes concretos, sino una clase de *tipos* de genes, donde los tipos en cuestión se definen mediante la relación de equivalencia "tener la misma secuencia de bases y el mismo locus". (Nótese que se necesita la referencia al locus con el fin de dar cabida a los genes redundantes, que, aunque tienen la misma secuencia de bases, ocupan diferentes *loci*.)

En suma, el término 'genoma' designa tres conceptos diferentes: los de (a) complemento genético –a menudo denominado 'conjunto físico' de los genes de un biosistema, o 'genoma físico'–; (b) genoma total –el conjunto matemático, o más bien la colección variable de los genes de un biosistema–; y (c) genoma típico –conjunto de tipos de gen, distinguidos tanto por secuencia de bases como por locus.

En lo que respecta al término 'gen', los términos 'genotipo' y 'fenotipo' fueron introducidos por Wilhelm Johannsen en 1909. Aunque definió originalmente "genotipo" y "fenotipo" como conceptos estadísticos (1913), esto es, como medias poblacionales de un carácter, más tarde definió estos conceptos en términos de propiedades de individuos (Churchill, 1974; Mayr, 1982.) Así, definió al genotipo como la "constitución total del cigoto" (1926, p. 166) y al fenotipo como el aspecto característico de un organismo en un tiempo dado. (De manera interesante, parece haberse dado cuenta de que la entidad "responsable de" un rasgo fenotípico (sin considerar el ambiente) no es el gen aislado, sino la "constitución total" del cigoto.) Sin embargo, ahora que el material genético ha sido identificado, y se hace distinción entre genoma y genotipo, es empleada una diferente noción de genotipo por los genetistas.

El genotipo de un organismo haploide o de uno procariótico (*genotipo*$_H$) puede concebirse como la colección de todos los tipos de genes en ese organismo, donde los tipos en cuestión se definen mediante la relación de equivalencia "tener la misma secuencia de bases", sin considerar los loci y consecuentemente, en

particular, los genes redundantes. En otras palabras, el genotipo de un organismo aploide es la familia de clases de equivalencia que resulta de dividir su genoma total entre la relación de equivalencia "la misma secuencia de bases". Adoptando la distinción estándar entre genes y alelos, también podríamos hablar de un *alelotipo*. (Nótese, sin embargo, que el término 'alelotipo' usualmente se refiere a la frecuencia del alelo en una población, no al genotipo de los organismos: véase Rieger *et al.* ,1991.)

En los organismos diploides la situación es más complicada, porque en cada célula hay dos copias de cada cromosoma, de manera que puede haber diferentes alelos en loci equivalentes. De cualquier manera, correspondiendo al concepto de genotipo$_H$, podríamos formar la clase de tipos de secuencia específicos (o tipos de alelo) de un organismo diploide: su *alelotipo*. Pero este alelotipo no sería lo que se considera genotipo en organismos diploides. En verdad, el genotipo de un organismo diploide (*genotipo$_D$*) se concibe como la colección de sus tipos de pares alélicos. Por ejemplo, si consideramos el caso más simple de dos alelos por (tipo de) locus, por ejemplo, los tipos de alelo A y a en el locus-A, entonces hay tres combinaciones posibles de estos alelos: AA, Aa y aa. Cualquiera de tales combinaciones representa un tipo de par alélico. Así, la relación de equivalencia "mismo par alélico" divide la colección de todos los loci de un organismo diploide en una familia de clases de equivalencia de apareamientos alélicos, esto es, el genotipo$_D$ del organismo en cuestión.

Un ejemplo ilustrará las diferencias entre todos estos conceptos. Considérese, entonces, un organismo diploide en el estadio de desarrollo bicelular, con dos pares de cromosomas de dos tipos P y Q, en cada célula: P_1 y Q_1 así como sus homólogos P_1* y Q_1* en la célula 1, y P_2 y Q_2 así como P_2* y Q_2* en la célula 2 (véase fig. 8.1). Asumamos, además, que las dos células están en la fase G_1 del ciclo celular, de manera que cada cromosoma consiste en sólo una cromátida, y que cada cromosoma lleva sólo dos loci. Para una notación más cómoda, estipulamos por último que todos los loci son heterocigotos, de manera que los cromosomas P llevan alelos de tipos A y a así como B y b, y los cromosomas Q llevan alelos de tipos C y c, así como D y d. Entonces, el organismo tiene en total 16 alelos (nucleares) de 8 tipos, a saber A, a, B, b, C, c, D, d. Su complemento genético (nuclear) total son los 16 alelos reales. Su genoma (o más bien aleloma) total es la composición de este complemento, es decir el conjunto de estos 16 alelos individuales, $\{A_1, a_1, A_2, a_2, B_1, b_1, B_2, b_2, C_1, c_1, C_2, c_2, D_1, d_1, D_2, d_2\}$, donde los subíndices distinguen cuál pertenece a cada célula. El genoma típico, en cambio, es el conjunto $\{A, a, B, b, C, c, D, d\}$, que es al mismo tiempo el alelotipo del organismo. (Nótese que, si hubiera genes redundantes, el genoma típico y el alelotipo no serían coextensivos, como en este caso.) Y el genotipo$_D$, finalmente, es el conjunto $\{Aa, Bb, Cc, Dd\}$.

Normalmente, los genetistas no están interesados en el genotipo$_D$ total de un organismo, sino sólo en el genotipo en algún locus de interés. Por ejemplo, al decir que Aa es un genotipo heterocigota se refiere sólo al genotipo en el locus-A. Así, la definición del genotipo$_D$ de un organismo puede restringirse a la de su L-

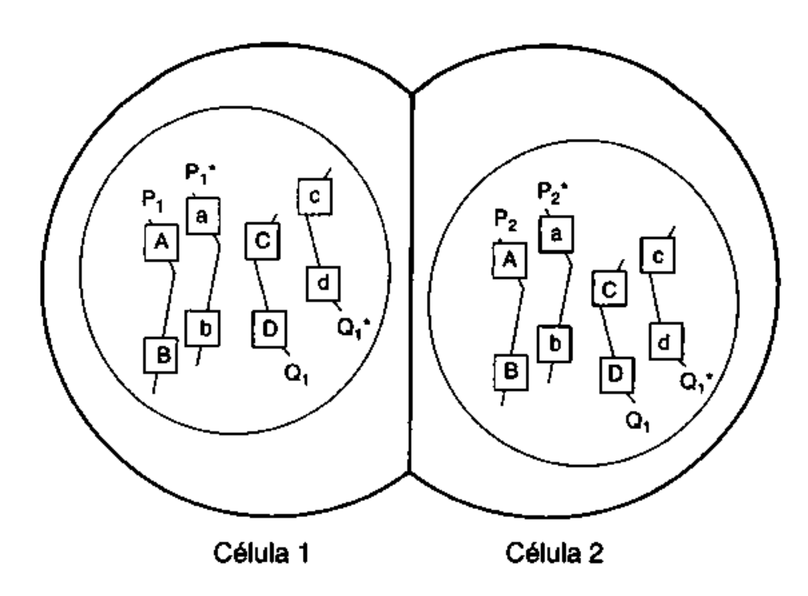


Fig 8.1. Un organismo multicelular en el estadio de dos células de su desarrollo. Las células están en la fase G_1 y contienen dos cromosomas (cromátidas), *P* y *Q*, cada una. Cada cromosoma contiene dos genes. Más explicaciones, en el texto.

genotipo$_D$, donde *L* se refiere al locus en cuestión. Consideraciones prácticas aparte, es necesario enfocarse en tales genotipos$_D$ *parciales* (Lewontin, 1992b) debido a la enorme variabilidad (diversidad) genética de los organismos, que hace difícil, si no imposible, hallar dos individuos con exactamente el mismo genotipo$_D$ total. Y como se supone que los científicos han de obtener generalizaciones –en particular enunciados legales– y no descripciones de individuos, deben enfocarse en lo que los organismos tienen en común, y no en lo que los hace únicos.

Todo esto no agota el uso del término 'genotipo' en biología. Particularmente, en genética de poblaciones encontramos expresiones tales como 'la replicación diferencial de los genotipos', 'la frecuencia del genotipo *Aa* en la población *p* es *x* %', y 'el genotipo *Aa* tiene un valor de aptitud mayor que el genotipo *aa*'. Los conceptos de genotipo anteriores no se aplican aquí, ya que sólo las cosas –no las colecciones– se replican y multiplican, y pueden tener valores de aptitud. De esta manera, esto sólo tiene sentido si el término 'genotipo' es una abreviatura de 'organismo caracterizado por algún genotipo$_H$ o genotipo$_D$'. Éste es, entonces, un tercer significado de la palabra 'genotipo': *genotipo$_O$*, donde *O* significa 'organismo'.

Ahora podemos reunir todos los organismos caracterizados por el mismo genotipo$_H$ o genotipo$_D$ en una clase de equivalencia. Por ejemplo, una población de organismos diploides puede partirse en una familia de clases de equivalencia de organismos con el mismo genotipo$_D$. (Nuevamente, esta partición usualmente se

restringe a un solo locus o a unos pocos loci, porque de otra manera podría resultar en una familia de clases unitarias.) Piénsese en el cruzamiento mendeliano de dos dihíbridos idénticos, *AaBb* × *AaBb*, cuya progenie pertenece a una de nueve clases fenotípicas posibles. Caracterizamos este cuarto concepto de genotipo mediante el subíndice *C*, abreviando 'clase': *genotipo*$_C$. (Para este concepto de genotipo, véase también Lewontin, 1992b).

Incidentalmente, las definiciones de los genotipos como clases de organismos también aparecieron en el período operacionalista de la genética. Por ejemplo, Haldane (1929) sugirió la siguiente definición operacional de "genotipo": "Una clase [de organismos] que puede distinguirse de otra mediante tests de cría se denomina *genotipo*" (p. 485.) Una concepción similar puede encontrarse en la formalización de Woodger (1952) de los conceptos genéticos. Como, según puntualizamos una y otra vez (sección 3.5.7.1, así como Bunge, 1967a, 1983b; Mahner, 1994a), las definiciones operacionales no son definiciones propiamente dichas, sino, en realidad, hipótesis indicadoras, podemos ignorar sin temor a equivocarnos esta noción operacionista de genotipo.

Fenoma y fenotipo. Con una excepción, los conceptos de fenoma y fenotipo de un organismo pueden definirse de manera similar que los de genoma y genotipo. El *fenoma total* de un organismo puede definirse como el conjunto de todos sus rasgos (individuales), ya sea a nivel orgánico o molecular. (Véase también Lewontin, 1992b.) Este conjunto comprende no sólo la composición de un organismo, sino también su estructura, ya que las propiedades relacionales de los subsistemas organísmicos se consideran caracteres. (Paralelamente a la expresión 'complemento genético', el agregado concreto de rasgos de un organismo podría denominarse 'complemento fenético' o 'fenoma físico', pero estas expresiones serían sinónimos de 'organismo', ya que las partes de un organismo no tienen existencia independiente.)

Nótese que, a diferencia del genoma típico, no hay un fenoma típico, porque el fenoma de una célula o de cualquier otro subsistema organísmico no es idéntico al fenoma del organismo como un todo, a menos –por supuesto– que el organismo sea unicelular. Por esta razón, todas las maneras diferentes de distinguir entre tipos de rasgo se subsumen tradicionalmente bajo el concepto de fenotipo. Así, el *fenotipo* de un organismo es la colección de todas las clases de rasgos (o tipos), no importa cómo se construyan, incluyendo también propiedades estructurales tales como la posición relativa de sus varios subsistemas. Al referirse a *tipos* de rasgos, distinguimos este concepto básico de fenotipo mediante el subíndice *T*, y lo denominamos *fenotipo*$_T$. (Nótese que podemos conceptualizar no sólo los fenotipos$_T$ de organismos enteros, sino también fenotipos$_T$ de sus subsistemas. Por ejemplo, podemos hablar del fenotipo del cerebro o incluso del fenotipo de una molécula. También podemos formar el fenotipo$_T$ específico de una especie de organismo, referido a todos los rasgos genéricos comunes a todos los miembros de una especie. Sin embargo, no hay un fenotipo de la especie o del nivel de especie, si se entiende en el sentido de fenotipo de una especie-como-individuo.)

De igual modo que el término 'genotipo', el término 'fenotipo' a menudo también se usa como sinónimo de 'organismo'. Así, paralelamente al genotipo$_O$, llamamos a este concepto *fenotipo*$_O$. Mientras que el fenotipo$_T$ es una colección, por lo tanto un objeto conceptual, cualquier referente de "fenotipo$_O$" es un objeto concreto o material; más precisamente, es un organismo caracterizado por algún fenotipo$_T$ o por alguna propiedad fenotípica$_T$. Cuando algunos biólogos dicen, por ejemplo, que "la selección actúa sobre el fenotipo", sólo pueden estar refiriéndose al fenotipo$_O$, ya que sólo los objetos materiales pueden interactuar. (De igual modo, la selección sólo puede actuar sobre genotipos$_O$; véase la sección 9.2.) Finalmente, de acuerdo con la noción de genotipo$_C$, podemos definir una clase fenotípica, el *fenotipo*$_C$, como la clase de organismos (en una población dada) definida por alguna relación de equivalencia fenotípica$_T$. Así, mientras que en el ejemplo precedente del apareamiento dihíbrido la progenie viene en nueve genotipos$_C$ posibles, sólo viene en cuatro posibles fenotipoo$_C$, siempre y cuando haya dominancia completa.

Incidentalmente, el concepto de fenotipo$_T$ nos permite formular una definición alternativa del concepto de evento o proceso de desarrollo. Por ejemplo, podríamos decir que cualquier cambio de estado de un organismo x durante un período $[t, t']$, donde $t' > t$, es un *evento* o *proceso de desarrollo* si el fenotipo$_T$ de x en t' es diferente del fenotipo$_T$ de x en t. Nótese que esta definición requiere la noción precisa de fenotipo$_T$, no la vaga aunque común definición de fenotipo en términos de la apariencia o forma observable de un organismo.

Conclusión. Debemos distinguir cuatro significados del término 'genotipo' en biología: (a) genotipo$_H$ –el conjunto de los tipos de gen (alelo) de un biosistema haploide; (b) genotipo$_D$ –el conjunto de los tipos de par alélico de un biosistema diploide; (c) genotipo$_O$ –un organismo caracterizado por un cierto genotipo$_H$ o genotipo$_D$; y (d) genotipo$_C$ –una clase de organismos que comparten el mismo (usualmente parcial) genotipo$_H$ o genotipo$_D$. De manera similar, debemos distinguir tres conceptos de fenotipo: (a) fenotipo$_T$ –el conjunto de tipos de rasgos de un biosistema; (b) fenotipo$_O$ –un organismo caracterizado por algún fenotipo$_T$; y (c) fenotipo$_C$ –una clase de organismos con un cierto fenotipo$_T$.

A la luz de estas definiciones se vuelve obvio que un fragmento completo de ADN, esto es, un gen o alelo individual, es él mismo un carácter fenotípico$_T$ (Lewontin, 1992b.) Es un subsistema (material) del organismo que interactúa con otros subsistemas en el curso del desarrollo. Así, el genoma total de un organismo es un subconjunto propio de su fenoma total, y el genotipo$_{H/D}$ de un organismo es un subconjunto propio de su fenotipo$_T$. (Como ya se mencionó antes, pueden distinguirse más subconjuntos del fenotipo$_T$, tales como el cariotipo, el enzimotipo, el citotipo, el histotipo, el organotipo, o lo que fuere.) Más aún, como los genes son subsistemas de los organismos, cualquier cambio cualitativo de dicho gen, como una mutación que produzca un gen de nuevo tipo, puede –de acuerdo con la definición 8.1– considerarse un evento de desarrollo.

Otra consecuencia de las explicaciones precedentes es que no tiene sentido ha-

blar del gen (así como tampoco del genotipo) como de una entidad informacional abstracta que de alguna manera se "expresa" o "manifiesta" o "ejemplo" ella misma en la forma de un carácter fenotípico. Formulaciones como éstas son claros vestigios del platonismo, para el cual la "información genética" está de alguna manera *ante rem*, o mejor dicho *ante organismum*. Este relicto platónico aparentemente lleva a algunos científicos a sostener que una clasificación basada en moléculas, en particular la sistemática del ADN, es en algún sentido más profunda u objetiva o decisiva que una basada en caracteres morfológicos (p. ej., Goodman, 1989). Claramente, tal creencia es injustificada porque los genes *qua* moléculas son parte del fenotipo$_O$, y los genes *qua* tipos de secuencia de ADN son miembros del fenotipo$_T$. Por lo tanto, la sistemática molecular sólo extiende a las moléculas el rango de caracteres organísmicos disponibles. No puede reclamar para sí un estatus metodológico especial. (Más sobre sistemática molecular en Schejter y Agassi, 1982; Hillis, 1987; Patterson, ed., 1987; Hillis y Moritz, 1990; Moritz y Hillis, 1990; Wägele y Wetzel, 1994; Ax, 1995.)

Además, las definiciones de los conceptos de genotipo y fenotipo en términos de planos o programas y sus manifestaciones, respectivamente, son inadecuadas porque llevan a la circularidad. Considérense las siguientes definiciones: (a) 'genotipo $=_{df}$ plano para el fenotipo' y (b) 'fenotipo $=_{df}$ manifestación del genotipo'. Ahora, puede sustituirse el término 'genotipo' en (b) por el miembro derecho de (a), obteniendo la definición circular 'fenotipo $=_{df}$ manifestación del plano para el fenotipo'. De igual modo, en (a) podría sustituirse el término 'fenotipo' por el miembro derecho de (b), obteniendo la definición circular 'genotipo $=_{df}$ plano para la manifestación del genotipo'.

La consecuencia más importante del análisis precedente es que la biología del desarrollo no necesita la dicotomía genotipo-fenotipo para explicar el desarrollo. El punto es cómo, dado un cierto ambiente, el estado inicial del cigoto es "mapeado" en algún estado posterior del organismo (Lewontin, 1974.) Esto nos lleva, interesantemente, de regreso a la concepción de Johannsen del genotipo como la "constitución total del cigoto" (en vez de la del material genético), que es lo que en realidad heredamos. (Véase también Simpson, 1953.) Y finalmente nos lleva de regreso de la genética a la biología del desarrollo.

8.2.4 *Epigeneticismo moderno o neoepigeneticismo*

Si todo lo que queda del neopreformacionismo es la elevada existencia de un material genético y específicamente estructurado en una célula germinal específicamente estructurada en un cierto hábitat estructurado, entonces debemos abocarnos a alguna forma de epigeneticismo a fin de dar cuenta del desarrollo (véase, p. ej., Løvtrup, 1974; Katz, 1982). Esto no es negar la influencia e importancia de los genes en el desarrollo: sólo quita el énfasis de su papel, supuestamente predominante, en el desarrollo. Al menos dos enfoques epigenéticos modernos intentan dar cuenta del desarrollo, de una manera no centrada en los

genes: el llamado *enfoque de los sistemas de desarrollo* (también llamado *construccionismo del desarrollo*) y el *enfoque estructuralista*, que procedemos a examinar.

8.2.4.1 Estructuralismo del desarrollo

En la sección 8.2.2 vimos que el problema de cualquier enfoque epigenético es dar cuenta de la conspicua especificidad y fidelidad del desarrollo. Los epigeneticistas tradicionales tuvieron que refugiarse en hipótesis vitalistas que postulaban variadas fuerzas capaces de dirigir y guiar el desarrollo de los organismos. El objetivo de los estructuralistas del desarrollo es hallar "leyes de la forma" universales que gobiernen el desarrollo e incorporarlas en una versión actualizada de una morfología idealista, que prefieren llamar 'morfología racional'. (Véase la referencia clásica Webster y Goodwin, 1982; así como Ho y Saunders, eds., 1984, 1993; Goodwin, 1982a, b, 1990, 1994; Ho y Fox, eds., 1988; Webster, 1984, 1993. Para revisiones y críticas véase Smith, 1992b; van der Weele, 1993; Resnik, 1994.)

En este extremo, la invariancia en desarrollo y reproducción se entienden en términos de "procesos generativos" o invariantes del desarrollo. Se supone que estos procesos generativos son "gobernados" por "leyes de la forma" o "leyes de la transformación" universales, como se incluyó en el concepto de tipo de la morfología idealista. Los organismos se consideran formas o "estructuras" particulares que son "miembros de un conjunto o sistema de transformaciones generadas por leyes" (Webster y Goodwin 1982.) Más aún, se considera que los organismos como "estructuras" son "totalidades autoorganizadas" o "campos" descriptibles mediante ecuaciones de campo. Por lo tanto, lo que restringe al desarrollo y la evolución no es la "contingencia histórica" de la descendencia común, sino las postuladas leyes universales de la forma. Por lo tanto, una clasificación acorde con leyes universales de la forma no necesariamente coincide con una clasificación basada en la filogenia. En realidad, la filogenia se considera "en gran medida irrelevante para una comprensión de los organismos como estructuras transformacionales" (Goodwin 1982a.) Lo que está en cuestión es la "lógica de las relaciones de transformación organizadas", los "orígenes lógicos (necesarios) gobernados por leyes" y en consecuencia, el "orden racional" del mundo viviente (Goodwin 1982a, 1990.)

Todo esto suena bastante confuso y algo grandilocuente, porque lo es. En verdad, el estructuralismo del desarrollo o *estructuralismo de proceso,* como a veces se le llama (Smith, 1992b), es una mezcla peculiar de percepción profunda genuina e importante con fósiles filosóficos y confusiones. Valdrá la pena, entonces, examinar más de cerca el estructuralismo del desarrollo.

Para empezar, descartemos rápidamente algunas de las muchas expresiones y enunciados metafísicamente mal formados que se encuentran en los escritos de los estructuralistas del desarrollo. Como se recordará de la sección 1.2, decimos que un enunciado se encuentra metafísicamente mal formado en el caso de que se atribuyan propiedades conceptuales a cosas materiales, o que se atribuyan propiedades sustanciales a objetos conceptuales. Esto queda ejemplificado por ex-

presiones y enunciados como 'lógica del desarrollo', 'lógica de las relaciones de transformación organizadas', 'orígenes lógicos', 'organismos como manifestaciones de orden racional', 'continuidad racional del orden entre naturaleza y mente', 'los procesos generadores de forma durante el desarrollo son racionales' y 'las explicaciones teóricas involucran la formulación de un conjunto de leyes con poder generativo' (Goodwin, 1982a; Webster y Goodwin, 1982; Ho y Saunders, 1993). Goodwin (1982a) medita explícitamente sobre una "concepción cognitiva de los procesos biológicos", esto es, una extensión de los conceptos tales como "conocimiento" y "racionalidad" hacia los procesos biológicos. Incluso admite simpatías con el subjetivismo (Goodwin, 1994.) Esta posición presupone claramente una ontología inmaterialista, aunque Goodwin (1990) niega cualquier implicación platónica. En una ontología científica, sólo algunos procesos biológicos muy especiales -procesos en sistemas neuronales plásticos- pueden asociarse correctamente con cognición e intencionalidad (recuérdense los capítulos 3 y 6).

Esta metafísica inmaterialista implícita también resulta aparente por la recurrente invocación de la "morfología racional" y, con ella, del concepto de "ley universal de la forma". Así, no es accidental que ya uno de los modelos de los estructuralistas, D'Arcy Thompson (1917) invocó de manera aprobadora el espíritu de Platón y Pitágoras al meditar sobre las leyes matemáticas que restringen las cosas tanto vivientes como no vivientes. Aunque los estructuralistas del desarrollo se consideran a sí mismos realistas (Ho y Saunders, 1993), su noción de ley de la forma es un concepto idealista. Esto porque dichas presuntas leyes formales universales sólo pueden entenderse como guías del desarrollo desde fuera: son *ante res*. Esta concepción de las leyes, aunque no deja de ser común, parece basarse en la confusión entre ley y enunciado legal, esto es, entre leyes sustanciales (pautas objetivas) y su representación conceptual, particularmente en términos matemáticos (véase sección 1.3.4). Es más, nos recuerda la famosa discusión del problema de los universales en la Edad Media, cuando los platónicos se autodenominaban 'realistas'. Las leyes, sin embargo, son propiedades de las cosas: son *in rebus*. Apenas se advierte que ni las leyes ni las formas revolotean por encima de las cosas, no puede quedar esperanza de concebir una morfología "racional". Si hay leyes del desarrollo biológicas, no físicas, éstas deben depender de la composición y estructura de los organismos en cuestión, en particular las del cigoto. Sin embargo, tanto la composición como la estructura de los organismos dependen de las de sus ancestros. Por lo tanto, las leyes del desarrollo deben ser taxón-específicas. Lo que hace que el desarrollo sea un proceso legal es que los organismos que experimentan procesos de desarrollo pertenecen a cierto tipo natural (biológico) en sentido amplio, esto es, un taxón, y así comparten ciertas propiedades (leyes$_1$); figurativamente hablando, comparten un espacio nomológico de los estados común. Los ejes de este espacio nomológico de los estados no están constituidos por formas inmateriales, sino por representaciones de las propiedades legalmente relacionadas de los organismos en cuestión. Por lo tanto, es cierto que los organismos sólo pueden experimentar transformaciones legales, pero esta legalidad no está provista por leyes inmateriales que flotan por encima de las cosas. Es

más, como se afirmó anteriormente, la mayoría de estas leyes será taxón-dependiente. Sólo las leyes estrictamente físicas y químicas son independientes de las consideraciones filogenéticas. Una clasificación basada en tales leyes puramente físicas y químicas puede, en realidad, cortar transversalmente taxones filogenéticamente definidos. Sin embargo, tal procedimiento no arroja una clasificación *biológica*.

Los estructuralistas del desarrollo podrían objetar que las propiedades que evolucionaron a través de la filogenia no pueden considerarse leyes porque son "históricamente contingentes", no lógicamente necesarias. Sin embargo, ningún hecho es lógicamente necesario; en otras palabras, todos los hechos son contingentes. Esto ocurre porque la lógica es ontológicamente neutral; es decir, ni las leyes lógicas ni las leyes matemáticas tienen injerencia en las cuestiones de hecho. Las leyes lógicas y matemáticas son constructos, no pautas objetivas del ser y del devenir. Por lo tanto, pueden aparecer en nuestro razonamiento sobre el mundo y en nuestras representaciones de éste, pero no desempeñan ningún papel fuera de nuestros cerebros. En particular, no pueden "gobernar" la conducta de las cosas –ni siquiera la de nuestros propios cerebros. Como en el mundo real sólo hay eventos nómicamente necesarios (y ninguno lógicamente necesario), en las ciencias fácticas y en una ontología científica la "legalidad" siempre significa necesidad nómica, no necesidad lógica. Es erróneo entonces concluir que, como los procesos son legales y quizá descriptibles en términos matemáticos, son racionales o lógicos. Moraleja: los científicos fácticos no tienen uso para los conceptos de necesidad lógica y su contraparte, la contingencia.

Mientras que los autores citados hasta ahora se consideran a sí mismos pertenecientes a la versión realista (en realidad, criptoidealista) del estructuralismo del desarrollo, también hay una rama radical o declaradamente idealista, caracterizada por la adopción de un formalismo puramente matemático, que remplaza al prevalente formalismo reduccionista y simbolista (o informacionismo) de la biología molecular. El principal representante de esta escuela es René Thom (1972, 1983.) Thom afirma, por ejemplo, que la teoría matemática de catástrofes sería una teoría universal capaz de dar cuenta de las discontinuidades y singularidades de todo tipo en cosas de todas las especies, desde fluidos hasta células y de organismos a sociedades. Tal generalidad, sin embargo, se gana a costa de la profundidad y a menudo de la relevancia. De hecho, todas las aplicaciones de la teoría de catástrofes son fenomenológicas (esto es, no mecanísmicas) y no específicas; y la mayoría de ellas también es estática. Es más, ninguna de ellas involucra ley biológica alguna. En consecuencia, los modelos de la teoría de catástrofes no tienen poder explicativo alguno. En particular, no explican cómo las catástrofes sobrevienen o qué sucede después (Truesdell, 1982.) En otras palabras, la descripción (o representación) analítica y gráfica de un número de posibles tipos de discontinuidad no constituye una teoría explicativa de la morfogénesis. Esto no es decir que las teorías fenomenológicas son ilegítimas. Lo que hace objetable a esta postura es la afirmación de que los mecanismos son irrelevantes, y por lo tanto una descripción matemática es una teoría suficiente de la morfogénesis. No conside-

rar la sustancia (es decir, la composición), el mecanismo y la historia es la falla principal de cualquier enfoque estructuralista (consistente.)

Una advertencia similar debe formularse contra el intento de explicar la morfogénesis en términos de campos morfogenéticos –idea tomada de la física de campos. Inicialmente era sólo una especulación semicruda, porque no se escribían ecuaciones de campos y no se hacían intentos de imaginar, menos de ejecutar, mediciones de la fuerza que un campo semejante ejercería sobre los átomos, moléculas y organelos transportados durante un proceso morfogenético. Goodwin y Trainor (1980) propusieron una precisión importante al proponer ecuaciones precisas que intentaban representar "una descripción en términos de campos, del proceso de clivaje en la embriogénesis". Ellos tienen el cuidado de llamar a la suya una 'descripción en términos de campos' antes que una 'teoría de campo', ya que no contiene ecuaciones de campo. Sin embargo, después de eso, escriben sobre campos primarios y secundarios. Habrían sido aún más precisos si la hubieran llamado 'una descripción en forma de campo' o 'un análogo físico', e incluso 'una descripción geométrica' de los planos de clivaje.

Goodwin y Trainor admiten que su obra fue sugerida por la analogía entre la distribución de los electrones (o nubes de probabilidad) de un átomo de hidrógeno en varios estados. Sin embargo, ellos se centran en las líneas nodales que aparecen en la superficie de una caja esférica elástica cuando vibra. Toman estas líneas como análogas del proceso de formación de surcos que precede al clivaje. Pero las líneas nodales resultan ser mucho más numerosas que los surcos. Para justificar la discordancia asumen que "un campo polar secundario más débil que el campo primario" remueve la degeneración –una suerte de epiciclo cuya única tarea es salvar la hipótesis de ciclo inicial. Y dan cuenta de las diferencias entre patrones de clivaje entre especies por medio de la introducción de una tercera fuerza indefinida, el "'gradiente' animal-vegetal que actúa como fuerza perturbadora uniforme sobre los husos mitóticos". (Nótese que el gradiente animal-vegetal existe realmente en la mayoría de los huevos, pero la fuerza ejercida por el gradiente queda sin definir en esta descripción relacionada con la teoría de campos.) En consecuencia, su primer enfoque sigue siendo estrictamente geométrico: no considera un proceso, mucho menos fuerzas reales que guíen ese proceso. Es más, el modelo no contiene variable biológica alguna además del número de células. (Sin embargo, Goodwin (1984) enlista varios candidatos para tales variables biológicas.) Este modelo se halla, en consecuencia, en la misma categoría que el desarrollo topológico de la morfogénesis de Thom.

Una genuina elaboración de la morfogénesis en términos de teoría de campos debería incluir, como mínimo, (a) ecuaciones de campo que relacionasen intensidades de campo con densidades de fuente del campo, (b) una o más fórmulas para la fuerza o fuerzas ejercidas por el campo sobre el material que se está organizando y (c) ecuaciones de movimiento para las partículas (moléculas, microfibrillas, organelos, etc.) involucrados en la morfogénesis. Mientras que Goodwin y Trainor no intentan hacer nada semejante en su publicación de 1980, sí proponen ecuaciones dinámicas que incluyen fuerzas genuinas en una publica-

ción posterior (1985). También lo hacen Brière y Goodwin (1988). Ambos trabajos estudian la formación de la voluta del alga acelular *Acetabularia* (el gorro de sirena) y proponen un mecanismo relacionado con una deformación de la pared celular. Este avance fue inspirado por un modelo dinámico de morfogénesis anterior, de Odell *et al.* (1981) sobre la base mecánica del plegado e invaginación de los epitelios embrionarios. Al centrarse en las características elásticas y viscosas del citoesqueleto, despreciando las aceleraciones extremadamente pequeñas, estos autores lograron demostrar que la contracción de una sola célula se propaga a las células adyacentes y genera una invaginación en el epitelio.

Tales modelos son filosóficamente interesantes por dos razones. Primero, porque muestran que consideraciones puramente mecánicas pueden llevar bastante lejos. Segundo, porque ayudan a descartar mitos preformacionistas: "[...] una vez disparado, el proceso morfogenético de invaginación procede por sí mismo, dirigido solamente por el equilibrio global de las fuerzas mecánicas generadas localmente por cada célula, y sin que se requieran secuencias individualmente preprogramadas de patrones de cambio en la forma celular" (Odell *et al.*, 1981:450.) Es más, ellos suavizan la perspectiva declaradamente estructuralista, al referirse a mecanismos biológicos (de desarrollo) reales (fuerzas y procesos), en vez de relaciones puramente geométricas.

Sin embargo, asumiendo de manera optimista que es posible en ciertos casos un desarrollo de la morfogénesis en términos de teoría de campos, y que las fuentes y fuerzas de campo postuladas eventualmente serán accesibles a la medición, queda el problema de que una teoría de campos morfogenéticos no puede suministrar una explicación *sistémica* de la morfogénesis. Por ejemplo, en el caso de la formación del ápice en (los miembros de) *Acetabularia*, una teoría morfogenética de campo no puede dar cuenta del hecho de que la forma de la voluta apical es específica de cada especie. Esto es, cuando el núcleo de un espécimen de *A. acetabulum* (anteriormente *A. mediterranea*) se trasplanta al pedúnculo de un espécimen decapitado de *A. crenulata* (o viceversa), la voluta regenerada asumirá la forma del ápice de la especie donante (Grant, 1978). Este ejemplo muestra que una teoría de la morfogénesis no sólo debe exhibir fuerzas formativas, sino también considerar la composición (por no hablar del ambiente) de los organismos en desarrollo. Nuevamente, la materia sí importa. Sostener que sólo importa la forma o estructura es por lo tanto un enfoque (macro)reduccionista. Así, adoptar una versión estructuralista del macrorreduccionismo, en vez de un microrreduccionismo neopreformacionista, no resuelve el problema del desarrollo. En cambio, los modelos moleculares de la morfogénesis en términos de morfógenos tampoco son explicaciones sistémicas del desarrollo, porque no tienen en cuenta al organismo como totalidad en desarrollo.

Para concluir, sostenemos que el estructuralismo del desarrollo tendría un atractivo mucho mayor si reconceptualizase algunas de sus ideas en términos sistémicos en vez de estructuralistas. Un primer paso consistiría en reconocer la importancia de los genes en el desarrollo. Esto ha sido hecho recientemente por Goodwin (1990), quien dice que el papel de los genes en el desarrollo consistiría

en establecer los valores de los parámetros de los procesos generativos. Un segundo paso importante consistiría en reformular la noción idealista de ley en términos de leyes biológicas reales. Aquí es necesario entender que el desarrollo es legal no porque sea guiado por leyes inmateriales de la forma, sino porque los miembros de un taxón biológico (en cualquier nivel de inclusión) son nomológicamente equivalentes. Estas $leyes_1$ (sustanciales) restringen el desarrollo y la evolución de los organismos correspondientes. Por lo tanto, aunque concordemos con los estructuralistas del desarrollo en su intento de hallar leyes y mecanismos del desarrollo, cuestionamos su perspectiva filosófica subyacente, ya que involucra el estructuralismo, el holismo, el (cripto)idealismo y el subjetivismo. Más allá del valor heurístico e inspiracional que esta perspectiva filosófica pueda haber tenido para los estructuralistas, sugerimos descartarla rápidamente y remplazarla por una materialista y sistemista.

8.2.4.2 Construccionismo del desarrollo

Tanto el estructuralismo como el construccionismo del desarrollo son reacciones contra el reduccionismo genético en la biología del desarrollo y evolutiva. Así, su meta común básica es dar cuenta del desarrollo y la evolución desde una perspectiva no centrada en los genes, esto es, consistentemente epigenética. Mientras que el estructuralismo del desarrollo es un producto de biólogos del desarrollo y matemáticos, el enfoque de los sistemas de desarrollo es principalmente una creación intelectual de los psicólogos del desarrollo. Está inspirada en la controversia naturaleza-educación de la psicología y las ciencias de la conducta. (Véase, p. ej., Lehrman, 1970; Lewontin, 1983a, b; Oyama, 1985, 1988; Johnston y Gottlieb, 1990; Gottlieb, 1991; Gray, 1992; Griffiths y Gray, 1994. Para una revisión crítica véase van der Weele, 1993; Sterelny, 1995; Sterelny *et al.*, 1996.)

El tema central del enfoque de sistemas de desarrollo es una concepción sistémica del desarrollo. En ella ninguna prioridad causal o determinativa en el desarrollo puede asignarse a los genes, es decir, factores internos, ni al ambiente, es decir, factores externos. Se hace hincapié en que los "fenotipos" no se *transmiten* de generación en generación, por ejemplo, codificados en el material genético, sino que se *construyen* nuevamente en cada generación a través de interacciones organismo-ambiente durante el desarrollo. (De ahí que Gray propusiera en 1992 el nombre *construccionismo del desarrollo*.) Así, el control del desarrollo no reside en el genoma solamente. Antes bien, en un sistema multinivel autorregulado, como un organismo, el control lo ejercen todos los componentes del sistema gen-en-una-célula-en-un-organismo-en-un-ambiente.

Como consecuencia, se rechaza la dicotomía tradicional entre caracteres heredados/genéticos y ambientales/adquiridos. En vez de eso, se hace énfasis en que *todos* los rasgos de un organismo en desarrollo son determinados tanto genéticamente como ambientalmente, porque ambos son necesarios para que ocurra un proceso de desarrollo, pero ninguno es suficiente. El hecho de que en algunos casos uno de los dos parámetros necesarios sea invariante, mientras que en otros

casos el invariante sea el otro, no implica que el factor variante sea suficiente aunque en la circunstancia dada determine la diferencia. Por ejemplo, las diferencias en el desarrollo de un huevo de pato y uno de gallina en la misma incubadora, esto es, un ambiente homogéneo, se atribuirán a factores internos en vez de a diferencias ambientales. Aún así, los rasgos en desarrollo no son independientes de estas condiciones ambientales. En contraste, la incubación de uno de dos huevos del mismo cocodrilo por debajo de un cierto umbral de temperatura y el otro por encima de éste resultará en un animal macho y uno hembra, respectivamente (o viceversa, dependiendo de la especie.) Sin embargo, tales casos de determinación ambiental del sexo no implican que la constitución genética de los embriones sea irrelevante. No debe sorprender, entonces, que la dicotomía heredado-adquirido haya sido puesta en duda por los biólogos durante bastante tiempo: "...es correcto decir que [la mayoría de los caracteres] nunca son estrictamente heredados ni estrictamente adquiridos, sino que son ambas cosas o ninguna, dependiendo del punto de vista" (Simpson, 1953:61).

La concepción construccionista del desarrollo también exige una noción ampliada de la herencia (Oyama, 1985). Si los rasgos fenotípicos no son de manera alguna transmitidos, sino construidos nuevamente durante el desarrollo, entonces surge la pregunta de qué heredan los organismos, si heredan algo. Por supuesto, los organismos heredan genes, pero también factores citoplásmicos (en realidad, toda la organización inicial de la célula) y, después de todo, un cierto ambiente (Gray, 1992). A primera vista, resulta chocante considerar heredado un cierto hábitat. Sin embargo, los biólogos saben muy bien que, por ejemplo, ciertos animales depositan cuidadosamente sus huevos sólo en sitios específicos. Éstos pueden ser ciertos hospederos vegetales o animales, o lugares caracterizados por una cierta humedad o temperatura. En otras palabras, heredar el ambiente incorrecto puede resultar tan fatal como heredar una mutación letal. (Incidentalmente, Woodger, 1929:385s., fue incluso más radical, sugiriendo abandonar directamente la noción de herencia; véase también su 1952:181.)

Estas consideraciones están resumidas en la definición de "sistema de desarrollo" de Oyama:

> El sistema de desarrollo [...] comprende no sólo genomas con estructuras y procesos celulares, sino también relaciones intra e interorganísmicas, incluyendo relaciones con miembros de otras especies, así como interacciones con el entorno inanimado (Oyama, 1985:123).

Así, se afirma que lo que se desarrolla no es el organismo, sino el sistema de desarrollo en su totalidad (Gray, 1992). De acuerdo con esto, ha de cuestionarse la distinción usual organismo-ambiente, en la cual el organismo se adapta a un ambiente dado o perece. Más bien se hace énfasis en que organismos y ambiente se "construyen" entre sí (Lewontin, 1983a, b; Griffiths y Gray, 1994). De paso, una opinión similar ya ha sido expresada por Woodger (1929), quien sostenía que "...los caracteres de los organismos son en realidad caracteres del organismo *y* su ambiente" (p. 346; cursivas en el original.)

Aunque hay mucha verdad en el construccionismo del desarrollo, deben formularse varias críticas. La primera es un problema fundamental con la noción misma de sistema de desarrollo. Si lo que se desarrolla no fuera el organismo sino el sistema de desarrollo, esto es, el sistema organismo-ambiente, deberíamos abandonar el sistemismo por el holismo. Para aclarar este punto hemos de recordar nuestra concepción de un sistema como analizable en su composición, ambiente y estructura, o de manera abreviada CES (véase sección 1.7.2). Un análisis CES de un sistema comprende una caracterización del ambiente del sistema, esto es, la colección de ítems distintos del sistema que pueden actuar sobre el sistema, y sobre los que el sistema puede actuar. Es decir, este concepto de ambiente es relacional, de manera que hay tantos ambientes como sistemas -sin considerar el universo como un todo, que no tiene entorno. Finalmente, la estructura externa del sistema es la colección de relaciones entre el sistema y todos los ítems en su entorno, tal como se definió anteriormente. En suma, de acuerdo con esta definición, cada sistema se caracteriza por su propio ambiente específico, delimitado por la estructura externa del sistema.

Si caracterizamos un organismo en términos del triplete CES, se toma en cuenta el ambiente del organismo, así como su estructura interna y externa -y por lo tanto todos los aspectos mencionados en la definición antes citada de Oyama de un sistema de desarrollo. Así, no necesitamos delimitar un sistema de desarrollo además del organismo. Si tuviéramos que caracterizar un sistema de desarrollo en términos del triplete CES, deberíamos determinar el ambiente del sistema de desarrollo, es decir, el ambiente del sistema organismo-ambiente. Después de todo, no sólo el organismo no existe en el vacío; tampoco el sistema de desarrollo como un todo. Entonces, ¿por qué no decir que este supersistema de desarrollo es *la* entidad en desarrollo? Pero entonces, apenas si podría decirse que este supersistema de desarrollo se desarrollaría solo. En un análisis CES de este supersistema deberíamos tomar en cuenta el ambiente de este supersistema de desarrollo, es decir que deberíamos buscar el supersupersistema de desarrollo del supersistema de desarrollo. Nuevamente, este supersupersistema de desarrollo tampoco existiría en un vacío. Ampliar más y más los sistemas de desarrollo anidados nos llevaría directamente al holismo, esto es, a asumir que el universo entero es *el* sistema de desarrollo. (Incidentalmente, ya Oyama, en 1985, advirtió la vaguedad de la noción de sistema de desarrollo y se preocupó de este tipo de objeción, pero no la enfrentó.) Esta concepción holística, sin embargo, habría dejado a la biología del desarrollo sin poder explicativo, porque deberíamos conocer el universo entero para dar cuenta del desarrollo de un solo organismo. (Véase sección 1.7.1, así como Sterelny *et al.*, 1996.)

En vista de estas dificultades, sugerimos abandonar la noción de sistema de desarrollo en bloque y retener al organismo como la entidad en desarrollo. Después de todo, la caracterización de un organismo en desarrollo en términos de un triplete CES comprende todos los ítems relevantes para dar cuenta del desarrollo. Es más, no necesitamos volver a exiliar al organismo de la biología del desarrollo, como ya lo hizo el reduccionismo genético. Sin embargo, mientras que el reduc-

cionismo genético es una forma de microrreduccionismo, el remplazo de los organismos por sistemas de desarrollo como lo propugna, por ejemplo, Gray (1992), quien considera a los organismos sólo un recurso del desarrollo entre otros, es un ejemplo de macrorreduccionismo.

Otra ventaja de abandonar la noción de sistema de desarrollo es que nos ahorra cualquier meditación sobre la ontología de los sistemas de desarrollo. Un intento de aclarar la ontología de un sistema de desarrollo fue llevado a cabo recientemente por Griffiths y Gray (1994.) Ellos afirman que la entidad central en el construccionismo del desarrollo es el proceso de desarrollo o ciclo vital:

> El proceso de desarrollo es una serie de interacciones con recursos de desarrollo que exhibe una recurrencia suficientemente estable en el linaje (p. 292).
>
> El proceso de desarrollo o ciclo vital es una serie de eventos de desarrollo que forma una unidad de repetición en un linaje. Cada ciclo vital es iniciado por un período en el cual las estructuras funcionales características del linaje deben ser reconstruidas a partir de recursos relativamente simples (p. 304).

(Casualmente, se abogaba por una posición similar en un libro olvidado de Lenartowicz, 1975.) De manera evidente, todo esto es una reificación de procesos, historias y linajes. La primera de las oraciones citadas ni siquiera designa una proposición, porque no se especifican los objetos en la presunta interacción: hay interacciones en sí mismas. (En otras palabras, "interactúa" es un predicado al menos binario: *x* interactúa con *y*.) Segundo, interacción se confunde con desarrollo. Así, el concepto de desarrollo se reduce a una noción meramente ecológica. Falta el significado principal de "desarrollo", es decir, emergencia de rasgos cualitativamente nuevos de los organismos (véase definición 8.1). En resumen, el tratamiento del desarrollo de Griffiths y Gray es insostenible.

Otro problema con la noción de sistema de desarrollo reside en la dificultad de distinguir entre los rasgos producto de la evolución y los individuales (o idiosincráticos.) Griffiths y Gray (1994) dan el siguiente ejemplo: mientras que los pulgares de sus manos son rasgos evolutivos, la cicatriz que uno de ellos tiene en su mano izquierda es un rasgo individual. Los rasgos evolucionados serían parte del sistema de desarrollo, mientras que los individuales (idiosincráticos) no. Como creen que

> el hecho de que un patrón de desarrollo resultante tenga una historia evolutiva no es una propiedad intrínseca que pueda determinarse mediante inspección del resultado, o del proceso que lo construye (p. 287),

ellos tienen que idear una justificación diferente de la distinción. Sugieren hacerla distinguiendo entre los rasgos que tienen explicación evolutiva y los que no. En otras palabras, sugieren considerar un cierto rasgo evolutivo porque "se ajusta a un patrón de explicación particular" (p. 287).

Desafortunadamente, esta propuesta descansa sobre un error de categoría. Más

precisamente, es una confusión de categorías ontológicas y epistemológicas, a tal punto que su consecuencia (inadvertida) es que la evolución es un producto de la biología evolutiva –una idea que tiene sentido sólo en un constructivismo ontológico, que es una versión del idealismo subjetivo. Sin embargo, es un problema ontológico si un rasgo es el resultado de la evolución. Así, semejante rasgo debería caracterizarse en términos ontológicos, no epistemológicos. Que podamos obtener o no una explicación evolutiva de este rasgo no puede incidir sobre el estatus ontológico de ese carácter. Así, debemos ser capaces de *definir* la noción de carácter evolucionado, en oposición a uno idiosincrásico, sin recurrir a relatos histórico-adaptativos ad hoc, es decir, lo que a menudo se da en llamar "explicación evolutiva". Tener una explicación semejante es sin duda interesante e importante, pero ciertamente no cambiará la ancestralidad de los organismos, y por lo tanto los caracteres en cuestión.

Sostenemos que es posible trazar una distinción entre los rasgos evolucionados y algunos rasgos idiosincráticos –aunque no todos– cuando examinamos el origen de los caracteres en cuestión y abandonamos la noción de sistema de desarrollo, es decir, si presuponemos la distinción tradicional entre el organismo en desarrollo y su ambiente. Al hacerlo, podemos distinguir entre rasgos que son resultado de la construcción que acaece durante el desarrollo y aquellos, tales como las mutilaciones, que son *directamente producidos* por algunos ítems ambientales. (Recuérdese sección 8.1, así como nuestra concepción de la causación como transferencia de energía, de la sección 1.9.2.) En este último caso, un ítem ambiental *actúa sobre* un organismo: produce directamente un cierto rasgo, tal como una herida. No es éste un proceso de desarrollo. En consecuencia, estos caracteres *son adquiridos*, aun cuando parezcan consistir meramente en mutilaciones en vez de nuevos rasgos valiosos. En contraste, en todos los procesos de desarrollo los ítems ambientales, o bien proveen condiciones (p. ej., materiales, temperatura y humedad) para el desarrollo, o disparan el inicio de vías de desarrollo alternativas (p. ej., la temperatura o ciertas sustancias químicas.) (Véase también Lenartowicz, 1975.) Nótese que sólo la herida abierta es un carácter adquirido. La curación de la herida y la formación de una cicatriz deben considerarse procesos de desarrollo, ya que involucran funciones organísmicas, las que fueron desencadenadas por el traumatismo. Aun en este caso, *pace* Griffiths y Gray (1994), la inspección de los procesos que construyen el rasgo sí nos permite determinar que el rasgo no es uno evolucionado.

Enfatizamos que nuestra dicotomía desarrollado-adquirido no es lo mismo que las dicotomías innato-adquirido y genético-ambiental: sólo introduce una distinción entre los rasgos que son resultado de procesos de desarrollo en un organismo y los que no, esto es, que son directamente producidos por algunos ítems en el ambiente del organismo. No hay desarrollo todavía en el vacío: podemos seguir sosteniendo que los rasgos evolucionados no se transmiten, sino que se construyen nuevamente durante la epigénesis del organismo en un cierto ambiente. Así, excepto por el concepto de sistema de desarrollo, varios principios básicos del construccionismo del desarrollo quedan incólumes.

Sin embargo, nuestra dicotomía desarrollado-adquirido aún resulta insuficien-

te para distinguir los rasgos evolucionados de las novedades cualitativas producto del desarrollo individual, tales como dedos adicionales o cualesquiera otros rasgos desviados, ya sean funcionales o disfuncionales. Lo mismo vale para los rasgos (evolucionados) no desviados, tales como el de tener *un* patrón de huellas dactilares, contra el rasgo individual de tener un patrón *en particular*. Después de todo, todos estos rasgos se construyen nuevamente durante el desarrollo de un organismo. En la sección 8.2.4.3 se mostrará cómo pueden *definirse* los rasgos evolucionados-desarrollados. Sin embargo, ya podemos decir cómo pueden ser *reconocidos*, a saber: estudiando su morfología y embriología comparadas. En otras palabras, necesitamos determinar si un rasgo dado es específico del taxón, lo que nos permite clasificar anormalidades (estadísticas.) Aunque una hipótesis plausible sobre la función y rol de un rasgo, así como su posible historia adaptativa, pueden ayudarnos a comprenderlo, nuestra distinción entre rasgos evolucionados y no evolucionados se basará predominantemente en el resultado de nuestros estudios comparativos.

Un problema final con la noción de sistema de desarrollo, según la describen Griffiths y Gray (1994), consiste en sus implicaciones para la biología evolutiva, que de ser verdaderas serían desastrosas. Cuestionar la distinción organismo-ambiente los lleva a abandonar la noción tradicional de ajuste o aptitud. Así, deben concebir la selección como mera replicación diferencial. Peor aún, luego equiparan la selección con evolución, y afirman que la unidad de evolución es la unidad de autorreplicación. La evolución se reduce así a la replicación diferencial de procesos de desarrollo. Se alega finalmente esta última noción para proveer un máximo poder explicativo.

La principal falla de esta opinión es que concebir la selección como replicación diferencial equivale a regresar al concepto operacionista de selección, que es responsable del cargo de que el concepto de selección natural sea tautológico. En verdad, la replicación diferencial no tiene poder explicativo; es un hecho que necesita explicación (véase sección 9.2). El hecho observable de la replicación diferencial de organismos en una población sólo puede explicarse por medio de la noción transempírica de ajuste diferencial. Sin embargo, Griffiths y Gray rechazan este concepto. Decir que los valores de aptitud sólo miden el poder autorreplicativo del sistema o proceso de desarrollo tiene la misma capacidad explicativa que la famosa *virtus dormitiva* del opio.

Para concluir, el intento de Griffiths y Gray (1994) de volver más precisa la noción de sistema de desarrollo y examinar su ontología debe juzgarse un fracaso absoluto. De hecho, su intento le hace un flaco favor al construccionismo del desarrollo, al asociarlo con una ontología severamente fallida que puede rastrearse desde Whitehead (1929), pasando por Woodger (1929) y Løvtrup (1974), hasta Hull (1989.) Afortunadamente, esta ontología no es necesaria para adoptar los principios centrales del construccionismo del desarrollo.

Hasta ahora el enfoque de los sistemas de desarrollo no es más que eso: un enfoque que suministra una nueva perspectiva general a la biología del desarrollo. Esta perspectiva es una alternativa al reduccionismo centrado en los genes, en la

biología del desarrollo contemporánea. Nos recuerda que como el desarrollo no ocurre en un vacío, los caracteres de un organismo no pueden dividirse en los que tienen una base genética, y en los que son adquiridos ambientalmente (incluso culturalmente): todos los rasgos organísmicos tienen raíces tanto genéticas como ambientales. Sin embargo, comparado con el estructuralismo del desarrollo, el construccionismo del desarrollo no sugiere una explicación mecanísmica del desarrollo (véase también van der Weele, 1993). Mientras que el estructuralismo del desarrollo intenta explicar el desarrollo con la ayuda de leyes (putativas) de la forma y campos morfogenéticos, los construccionistas del desarrollo sólo pueden dar cuenta de la especificidad y continuidad del desarrollo diciendo que condiciones iniciales similares producirán resultados de desarrollo similares. Por supuesto, esto sólo es posible si los procesos de desarrollo subyacentes son legales. Sin embargo, la noción de ley se halla visiblemente ausente del construccionismo del desarrollo. En lo que sigue intentaremos remediar esta situación.

8.2.4.3 Síntesis epigenética

En nuestra opinión, una biología del desarrollo bien fundamentada deberá adoptar la perspectiva sistémica del construccionismo del desarrollo e intentará explicar el desarrollo de *organismos* estudiando todos los niveles relevantes, desde el molecular hasta el ambiental. (Véase, p. ej., Hall, 1992.) Y deberá adoptar la convicción de los estructuralistas del desarrollo, o sea, que sí hay leyes del desarrollo aunque no pueden ser leyes abstractas de la forma. Asumiendo que las leyes del desarrollo puedan dividirse en físicas, (bio)químicas, y biológicas, resulta claro que, por ejemplo, algunas leyes físicas -en particular, mecánicas- valen para los organismos *qua* objetos físicos, no biológicos (véase, p. ej., Thompson, 1917; Odell *et al.*, 1981). Sin embargo, como los organismos resultan ser entidades biológicas, cualquier lista de leyes físicas del desarrollo, como las leyes de campos morfogenéticos en el sentido del estructuralismo del desarrollo, resultarán insuficientes para explicar el desarrollo.

Como la hipótesis de que los biosistemas se desarrollan legalmente es central, la formularemos explícitamente. Sin embargo, no necesitamos formular aquí un nuevo axioma porque el enunciado es sólo un caso especial del teorema 1.1. En realidad, de este último se sigue, suponiendo que todo biosistema es una cosa:

COROLARIO 8.2. Todo organismo puede sufrir únicamente transformaciones legales.

Este corolario no debería sorprender a los biólogos del desarrollo. Después de todo, lo que se discute en biología evolutiva bajo el rótulo 'restricciones de desarrollo' no son sino leyes en el contexto del desarrollo (véase Bonner, ed., 1982; Levins y Lewontin, 1985; Kauffman, 1985; Maynard Smith *et al.*, 1985; Gould, 1989; Hall, 1992; Amundson, 1994). Es más, resulta evidente en la noción de morfoespacio utilizada por algunos biólogos del desarrollo (p. ej., Alberch, 1982; Lauder, 1982; Gould, 1989) que las leyes del desarrollo restringen las formas ló-

gicamente posibles de organismos. El morfoespacio concebible de un organismo es aquel subespacio de su espacio de los estados total, relacionado con su forma morfológica y anatómica. Como sucede con el espacio de los estados total en general, el morfoespacio real de un organismo es siempre un subconjunto de su morfoespacio concebible. A tono con nuestras nociones de espacio de los estados concebible y nomológico (secciones 1.4.2-3), recomendamos el uso de la expresión 'morfoespacio nomológico' para el conjunto de morfologías realmente posibles de los organismos. Esto puede dar más confianza a aquellos biólogos que aún sospechan del concepto de ley.

Ahora definamos un concepto restringido de herencia de acuerdo con una perspectiva construccionista del desarrollo. Al hacerlo, revisaremos la noción de herencia desde la perspectiva del descendiente más que desde la del ancestro. La razón es que lo que importa desde la perspectiva del organismo en desarrollo es el conjunto de recursos disponibles, así como su propia composición y estructura, es decir, la situación en que se encuentra, antes que los ítems que el progenitorlega realmente a su descendencia. De acuerdo con esto, proponemos:

DEFINICIÓN 8.12. Represente x un organismo con composición C, ambiente E y estructura S, y denote t_0 el tiempo de su origen. Entonces, se dice que todas las propiedades (o caracteres) de x en t_0 y sólo ellas, esto es, las de $C(x, t_0)$, $E(x, t_0)$ y $S(x, t_0)$, son *heredadas*. De todas las propiedades (o caracteres) de x que no se presenten en t_0, o desde t_0 en adelante, sino en algún tiempo posterior $t_1 > t_0$, se dice que son *no heredadas*.

Es tarea de los biólogos determinar qué cuenta como t_0. Sugerimos, sin embargo, que entre los organismos de reproducción sexual la formación del cigoto puede contar como el origen de un nuevo organismo. Más precisamente, el momento después de la fusión de los pronúcleos materno y paterno puede considerarse el estado inicial de un nuevo organismo. Entre los organismos de reproducción partenogenética, el candidato puede ser el producto final de la ovogénesis –el óvulo capaz de desarrollarse. Finalmente, entre los organismos de reproducción asexual, el momento en que una yema se desprende del organismo progenitor, o en que una célula hija se desprende de la célula madre, puede contar como origen de un nuevo organismo.

A partir de las definiciones 8.1 y 8.12 inferimos que los caracteres no heredados de los organismos pueden agruparse en dos clases: aquellos que son resultado de algún proceso o procesos de desarrollo del organismo y aquellos que son generados (esto es, producidos directamente) por algún agente ambiental, tal como se explicó en la sección anterior. Expresamos esto en:

COROLARIO 8.3. Todos los caracteres no heredados de los organismos son resultado de algún evento o proceso (o algunos eventos o procesos) de desarrollo, o generados (es decir, producidos directamente) por algún agente o agentes ambientales.

Las clases de propiedades correspondientes merecen sus propios nombres.

Así, sugerimos:

DEFINICIÓN 8.13. Designe *p* una propiedad (o carácter) no heredada de un organismo *x*, y represente $s(x, t_0)$ el estado inicial (o heredado) de *x* al tiempo t_0. Entonces, *p* se denomina *herencia-dependiente*, si y sólo si, *p* es resultado de algún evento o proceso (o algunos eventos o procesos) con la condición inicial $s(x, t_0)$. Si no, *p* se denomina una propiedad *adquirida*.

Nótese que herencia-dependiencia no es lo mismo que gen-dependencia. Como nos referimos al estado inicial de un organismo, ya sea un cigoto o una yema recién separada de algún organismo progenitor, dejamos lugar para cambios heredables en la composición y la estructura extragenómicas de la célula, como en el caso de las fenocopias y las modificaciones somáticas persistentes. Es más, hay propiedades no génicas del cigoto, tales como su organización citoplásmica, que determinan propiedades en la organización del adulto, como sus ejes dorsoventral o anteroposterior (Løvtrup, 1974; Wolpert, 1991).

Naturalmente, los caracteres herencia-dependientes son de particular interés para los genetistas y los biólogos del desarrollo. Como estos rasgos dependen del estado heredado por el biosistema en cuestión, usualmente también se les considera heredados o transmitidos. Sin embargo, puede decirse que son heredados sólo en el sentido, más amplio, de *mediatamente* heredados. Para evitar cualquier ambigüedad, optamos por el término 'herencia-dependiente'.

Nuestras nociones de rasgos heredados y herencia-dependientes parecen similares al concepto de Wimsatt (1986) de rasgos *generativamente arraigados*, esto es, aquellos rasgos que son seguidos por algunos rasgos de desarrollo posterior que dependen de ellos. Esta concepción ha sido criticada por Burian (1986) fundándose en que no permite distinguir entre los aspectos genéticos y los no genéticos de los rasgos en cuestión. En verdad, lo mismo vale para nuestra concepción de los caracteres heredados y herencia-dependientes. Pero, como debería resultar obvio a partir de lo anterior, la distinción genético-no genético es artificial. Ésta sólo es una cuestión de enfoque analítico, no de prioridad ontológica de un componente necesario de un biosistema en desarrollo.

Como los estados posteriores de un biosistema dependen en mayor o menor medida de su estado heredado, cualquier estado posterior podrá representarse mapeando el estado inicial en algún estado posterior en cuestión. Esto es lo que los genetistas tienen en mente al hablar de que el genotipo se mapea en el fenotipo (p. ej., Lewontin, 1974). Considerando las nociones de genotipo_H y genotipo_D, tal mapeo puede dejar satisfecho al genetista. Sin embargo, para los biólogos del desarrollo dicho mapeo sólo es útil si comprende la concepción amplia de Johannsen del genotipo, como constitución (estado) total del cigoto. Como no todos los organismos empiezan como cigotos, y como el genotipo así concebido debe considerarse un subconjunto del fenotipo, los modeladores en biología del desarrollo sólo pueden interesarse en el mapeo del estado inicial de un biosistema en algún estado posterior. La historia del organismo en cuestión será entonces representada por una trayectoria en el espacio de los estados organísmico.

Como se mencionó antes, cuando se habla de caracteres adquiridos sólo podríamos pensar en daños o mutilaciones. Así, los caracteres adquiridos son rasgos bastante "negativos" y, es más, es posible que resulten disvaliosos o al menos neutros. Sin embargo, lo que depende del estado inicial del organismo es, por ejemplo, la regeneración de partes perdidas o la curación de heridas. Esto es, los rasgos adquiridos pueden desencadenar procesos de desarrollo. Aun así, el rasgo resultante es individual, no evolucionado.

Ahora estamos listos para enunciar la hipótesis central de cualquier biología del desarrollo epigeneticista. Esta hipótesis se encuentra implícita en los corolarios y definiciones anteriores:

COROLARIO 8.4. Todos los caracteres herencia-dependientes de un organismo son *legalmente construidos de novo* en el curso de su desarrollo.

Nótese que *de novo* no debería malentenderse como *ex nihilo*. Puesto que los rasgos no heredados y no adquiridos de un organismo dependen tanto de su estado inicial como de su ambiente, no se construyen a partir de la nada. Sin embargo, se construyen *de novo* porque ni son preformados ni son preexistentes de alguna manera en el cigoto. (Véase también Horder, 1989.) Sólo un informacionista platónico puede decir que los rasgos preexisten en la forma de información o instrucciones, antes de ser "corporizados", "realizados" o "ejemplificados" durante el desarrollo.

Una biología del desarrollo bien fundada, que combinase el enfoque construccionista con la búsqueda de leyes, eventualmente sería capaz de deshacerse de cualquier residuo teleológico. Para mostrar que en realidad es así, necesitamos una definición no teleológica de las visibles equivalencias y equifinalidades de la mayoría de los procesos de desarrollo en los organismos coespecíficos. Para comenzar, decimos que dos procesos son *equivalentes* si llevan de los mismos estados iniciales a los mismos estados finales, donde "inicial" y "final" se toman como conceptos relativos, no absolutos; es decir, que son aplicables a cualesquiera estados anteriores y posteriores de un organismo. Nótese que "estado final" no debe equipararse con "meta". En lo que respecta a la equivalencia de los procesos de desarrollo, proponemos:

DEFINICIÓN 8.14. Designen $s(x)$ y $s(y)$ estados iniciales de dos organismos (o cualesquiera subsistemas de ellos) x e y, respectivamente, y sean $s'(x)$ y $s'(y)$ estados posteriores (o finales) de x e y, respectivamente. Además, representen $P(x, s)$ y $P(y, s)$ los conjuntos de las propiedades *genéricas* (o subconjuntos relevantes de ellas) de x e y, respectivamente, cuando están en estados s (iniciales o anteriores), y representen $P(x, s')$ y $P(y, s')$ los conjuntos de propiedades genéricas de x e y, respectivamente, en estados s' (posteriores). Finalmente, representen $\langle s(x), s'(x)\rangle$ y $\langle s(y), s'(y)\rangle$ eventos o procesos de desarrollo de x e y, respectivamente. Entonces, se dice que los eventos o procesos de desarrollo $\langle s(x), s'(x)\rangle$ y $\langle s(y), s'(y)\rangle$ son *equivalentes* si $[P(x, s) = P(y, s)]$ & $[P(x, s') = P(y, s')]$.

Nótense los siguientes puntos. Primero, sólo hay involucradas propiedades genéricas, por lo tanto, estados genéricos. La razón es que dos entidades no pueden estar exactamente en el mismo estado, es decir, tener exactamente las mismas propiedades individuales (de otra manera serían idénticas, o sea la misma cosa), y porque debemos considerar perturbaciones aleatorias en el desarrollo. Tales procesos aleatorios que dan cuenta de algo de la variabilidad entre organismos coespecíficos se denominan *ruido de desarrollo* (véase Lewontin, 1983a, b). Segundo, equivalencia no es lo mismo que identidad. Esto es, los estados iniciales y finales de dos procesos equivalentes pueden alcanzarse a través de diferentes estados intermedios. Tercero, no se hizo referencia explícita a los tiempos en que *x* e *y* están en los estados *s* o *s'*, porque ni los estados iniciales ni los finales, de *x* e *y* son necesariamente simultáneos. Es más, ni siquiera es necesario que *x* e *y* sean individuos contemporáneos. Así, todo cuanto se necesitó fueron las nociones relativas de estado antecedente y sucesivo.

Cuarto, el concepto de equivalencia de procesos es más fuerte que el concepto de equifinalidad de procesos. Este último queda elucidado por:

DEFINICIÓN 8.15. Se dice que dos procesos son *equifinales* si y sólo si se alcanza el mismo estado final a partir del mismo estado inicial o de diferentes estados iniciales.

Así, todos los procesos equivalentes son equifinales, pero no a la inversa. Tal como con el concepto de equivalencia de procesos, al aplicar esta definición a los procesos de desarrollo debemos restringir la noción de estado a propiedades genéricas.

Con base en el corolario 8.2, las definiciones 7.2 (que define la especie como una clase de entidades nomológicamente equivalentes), 8.14 y 8.15 aplicada a procesos de desarrollo, obtenemos (entimemáticamente):

COROLARIO 8.5. El desarrollo de organismos que pertenecen a la misma especie es equivalente, por lo tanto equifinal.

Finalmente, nos abocamos a la definición del concepto de rasgo evolucionado. Podemos decir que un rasgo herencia-dependiente de un organismo es un rasgo *evolucionado* si ese organismo desciende de ancestros en los que procesos de desarrollo equivalentes producían rasgos herencia-dependientes del mismo tipo. Mientras que en la definición 8.14 la equivalencia de procesos se definía sólo en relación con estados anteriores y posteriores, la noción de herencia-dependencia conecta ahora los procesos de desarrollo equivalentes en cuestión con los estados iniciales *absolutos* s_0 de los organismos en cuestión, por ejemplo, los estados iniciales de los cigotos. Esto suministra la conexión entre los miembros de un linaje ancestro-descendiente. Más precisamente, sugerimos:

DEFINICIÓN 8.16. Se dice que una característica herencia-dependiente de tipo *K* de un organismo *x* del taxón *T* que es resultado de un proceso legal de desarrollo *d* es un *rasgo evo-*

lucionado de *x*, si y sólo si, *x* desciende de ancestros en los cuales las características herencia-dependientes de tipo *K* fueron producidas por eventos de desarrollo equivalentes a d desde la emergencia de la primera característica de tipo *K* en el primer miembro del taxón *T*.

No hace falta decir que lo más verosímil es que los rasgos evolucionados sean adaptaciones. Sin embargo, "rasgo evolucionado" y "adaptación" (de acuerdo con la definición 4.15) no son cointensivos ni coextensivos, porque un rasgo evolucionado puede dejar de ser una adaptación con respecto a un hábitat cambiado. En este caso, aunque represente una malaptación, sigue siendo un rasgo evolucionado, aun cuando resulte desfavorecido por la selección.

Para concluir, no se requiere una acción directiva especial para explicar por qué un biosistema tal como un cigoto, con una composición, ambiente y estructura iniciales dados -que es lo que queda del preformacionismo-, sufre transformaciones de desarrollo (epigenéticas) legales. La necesidad nómica, no instrucciones o programas inmateriales preformados, da cuenta de las transformaciones del desarrollo de los organismos.

Aquí es posible que el biólogo evolutivo nos recuerde que, mientras que todo esto puede ser así en verdad, no debemos pasar por alto el hecho de que una comprensión de las transformaciones del desarrollo de los organismos requiere no sólo el conocimiento de las leyes subyacentes, sino también de su evolución. Después de todo, el desarrollo de un organismo, específico de su especie, es él mismo un resultado de la evolución. Aunque esto es verdad, en el siguiente capítulo veremos que el concepto de proceso del desarrollo tiene de cualquier manera prioridad lógica sobre el de proceso evolutivo, ya que el primero ayuda a definir al segundo.

9 TEORÍA DE LA EVOLUCIÓN

> Si hemos de entender la evolución, debemos recordar que es un proceso que ocurre en las poblaciones, no en los individuos. Los animales individuales pueden cavar, nadar, trepar o galopar, y también se desarrollan, pero no evolucionan. Intentar una explicación de la evolución en términos del desarrollo de los individuos es cometer precisamente el error de reduccionismo fuera de lugar, del que a veces se acusa a los genetistas.
>
> MAYNARD SMITH, 1983, p. 45

9.1 EVOLUCIÓN Y ESPECIACIÓN

9.1.1 *El concepto ontológico de evolución*

El concepto de evolución no se restringe a la biología. De hecho, es un concepto ontológico, ya que se aplica a varios procesos naturales: hablamos, por ejemplo, de evolución cósmica, estelar, química, biótica y cultural. (Véase también Vollmer, 1989.) Lo común a todas estas nociones específicas de evolución es, antes que nada, el concepto ontológico de cambio. El cambio, sin embargo, puede ser cuantitativo o cualitativo, y todo cambio cualitativo va acompañado de algún cambio cuantitativo, pero no a la inversa. Admitir el cambio cuantitativo hace que la propia ontología sea dinamicista en oposición a estática, pero no la hace evolutiva. Para que una ontología sea *evolutiva*, debe afirmarse asimismo que también hay *cambio cualitativo*. Pero este último, aunque necesario, aún no es suficiente para el cambio evolutivo propiamente dicho. Por ejemplo, un organismo en desarrollo experimenta cambios cualitativos, pero no los consideramos evolutivos. Para que un cambio cualitativo se considere *evolutivo*, debemos asumir finalmente que consiste en la *emergencia de cosas de un nuevo tipo* o *especie* (ontológica.) En otras palabras, un concepto de evolución propiamente dicho involucra el concepto de especiación en el sentido ontológico de adquirir entidad una cosa de un nuevo tipo. Así, el concepto ontológico de evolución se aplica a todos los cambios cualitativos que resultan en la especiación (recuérdese las definiciones 7.2 y 7.5). Sin embargo, en muchas ciencias (p. ej., desde la mecánica cuántica pasando por la termodinámica hasta las ciencias sociales) el término 'evolución' se usa como sinónimo de 'cambio' *simpliciter*. Aquí hablar de evolución de un sistema *puede* implicar un cambio cualitativo, pero no lo requiere *explícitamente*. Lo mismo vale para los modelos generales del espacio de los estados de la evolución de un sistema, en los cuales éste se representa por alguna trayectoria. No debe sorprender, entonces, que esta noción general de evolución que no requiere explícitamente el cambio cualitativo también se use en biología, donde subyace, por ejemplo, a la

definición ampliamente aceptada del concepto de bioevolución en términos de cambio de las frecuencias génicas o genotípicas en las poblaciones. En verdad, varias elucidaciones del concepto de cambio evolutivo de las poblaciones en términos del enfoque del espacio de los estados, tales como las de Lewontin (1974), Bunge (1977a) y Burns (1992), permiten que ocurran cambios cualitativos, aunque no los requieren explícitamente. Antes de que sugiramos corregir esta situación, recordemos brevemente la noción de espacio de los estados de la sección 1.4.

El estado de cualquier sistema se representa mediante un punto en un espacio matemático *n*-dimensional, cuyos ejes son los atributos (o variables de estado) que representan las propiedades de interés del sistema dado (fig. 1.1). Los cambios de estado, es decir, eventos o procesos, son representables mediante una trayectoria que conecta dos o más puntos en el espacio de los estados dado; y la historia (total) de un sistema es representable mediante la trayectoria completa que conecta el estado inicial del sistema con su estado final (fig. 1.2).

En una descripción genética de una biopoblación podemos, entonces, considerar la aparición de ciertos genotipos$_O$ (es decir, organismos con algún genotipo$_D$ en uno o más loci de interés) en una biopoblación como variables de estado, cuyos valores son las frecuencias de los genotipos$_O$ en la población. (Para los diferentes conceptos de genotipo, recuérdese sección 8.2.3.3.) Así, el estado genético de una biopoblación en un tiempo dado se representa mediante un punto en el correspondiente espacio de los estados. Considerando la conceptualización profundamente arraigada de la evolución como cambio en las frecuencias génicas o genotípicas en las poblaciones, resulta tentador pensar que, en tal representación de espacio de los estados, el movimiento del punto a través del espacio de los estados representa la evolución de la biopoblación (Lewontin, 1974; Bunge, 1977a; Burns, 1992). Esto, aunque parcialmente cierto, es insuficiente: no cualquier historia de una cosa debería considerarse un proceso evolutivo.

Para conceptualizar un genuino cambio evolutivo mediante un modelo de espacio de los estados necesitamos recordar que las variables de estado del sistema en cuestión no toman valores en todo el espacio de los estados concebible, porque las leyes del sistema sólo permiten ciertos estados (legales) y por lo tanto ciertos cambios (trayectorias legales.) En otras palabras, las leyes del sistema "determinan" el espacio nomológico de los estados para ciertos cambios. (Éste puede ser restringido además por factores externos.) Así, cada cambio se representa en realidad por una trayectoria dentro del espacio nomológico de los estados del sistema. Para que ocurra un cambio evolutivo debemos asumir que el sistema en cuestión sufre un cambio de tipo. En un modelo de espacio de los estados, tal cambio de tipo de un sistema equivale a la adquisición de nuevas variables de estado y, por lo tanto, de un nuevo espacio nomológico de los estados. En sentido figurado, podríamos decir que la cosa que experimenta un cambio evolutivo salta a un diferente espacio nomológico de los estados. (Véase fig. 1.3. Nótese que desde un punto de vista matemático no necesitamos hablar de un *nuevo* espacio de los estados, dado que todos los ejes del espacio de los estados pueden concebirse como presentes desde el principio, de manera que el cambio cualitativo se

representa por el movimiento de la trayectoria en una región diferente del espacio total de los estados. Después de todo, la matemática es platónica y estática.) Como se dice que todas las cosas que comparten el mismo espacio nomológico de los estados pertenecen a la misma especie (ontológica), la adquisición de un nuevo espacio nomológico de los estados representa la especiación (ontológica.)

Para concluir, la teoría de la evolución es y debería ser sobre el *origen de las especies* o, más precisamente, sobre el origen de entidades bióticas pertenecientes a una nueva especie. Sin embargo, ¿cuáles son estas entidades que están cambiando evolutivamente, es decir, especiándose? En otras palabras, ¿cuáles son las unidades de la evolución: organismos, biopoblaciones, comunidades, ecosistemas, o quizá la biosfera o ecosfera entera, como algunos autores han sugerido (p. ej., Dunbar, 1972; Walker, 1985)? (Obviamente, en nuestra ontología sería absurdo considerar las especies como entidades sujetas a especiación.) Las respuestas a esta pregunta revelarán si el término 'evolución' se refiere a un solo proceso individual, o si se refiere a una clase de procesos equivalentes que ocurren en entidades separadas del mismo tipo, o si quizá se refiere a una colección de procesos individuales completamente diferentes que ocurren en entidades separadas de tipos diferentes. Éstos son, entonces, los principales temas ontológicos en biología evolutiva que se abordarán a continuación.

9.1.2 *Especiación en biología*

Aunque naturalmente debería esperarse que una teoría de la evolución biótica fuese acerca de los sistemas vivientes, la interpretación oficial, es decir, la de la teoría sintética, sostiene que no son los organismos los que evolucionan sino las biopoblaciones o especies (como presuntos individuos). A veces también se dice que mientras que el organismo es la unidad de la selección, la biopoblación es la unidad de la evolución. De acuerdo con esta interpretación oficial, se supone que en la evolución biótica en realidad los objetos que cambian cualitativamente son entidades no vivientes.

En cambio, las novedades o innovaciones evolutivas a las que nos referimos en la biología evolutiva, paleontología y sistemática son *propiedades de los organismos*, no de las poblaciones, especies o taxones superiores –un hecho muy importante que hay que recordar. Por ejemplo, la posesión de una notocorda, un canal neurentérico y arcos branquiales no es una propiedad de alguna población de vertebrados ni del taxón Vertebrata. Según este último punto, ni siquiera importa si se considera a los taxones individuos o clases, porque un taxón no es una (presunta) "entidad histórica" ni como clase de organismos tiene arcos branquiales, notocorda o cualesquiera otras propiedades específicas del nivel organísmico. (Nótese que por 'propiedades de nivel organísmico' o 'propiedades organísmicas' entendemos las propiedades específicas de las entidades que pertenecen al bionivel organísmico: véase sección 5.3. No nos referimos a las propiedades genéricas compartidas por los sistemas en diferentes niveles, ta-

les como composición y estructura, en particular coordinación e integración funcional.)

Nuestro énfasis en una distinción apropiada entre propiedades específicas del nivel organísmico y propiedades de las entidades de nivel superior no es mera pedantería filosófica. Más bien, es una necesidad, considerando la interpretación ortodoxa de la evolución como se expresa, por ejemplo, en el epígrafe de Maynard Smith. También es necesaria con respecto al hecho de que algunos filósofos han atribuido expresamente propiedades de nivel organísmico a poblaciones, a fin de defender la importancia en biología del pensamiento en términos de poblaciones. Por ejemplo, Mary Williams (1981) ha afirmado que el útero sería una característica de una población, ya que resulta inútil para el organismo en sí pero valiosa para la población. Sin embargo, aun si el útero fuera valioso para la población antes que para el organismo, sería un carácter organísmico: no existe un útero poblacional que procree y dé a luz poblaciones enteras, como totalidades superorganísmicas. Nuestro énfasis se vuelve más necesario por el hecho de que en biología encontramos mucha mezcla de niveles (aparentemente) inadvertida. Un ejemplo de tal confusión es la siguiente caracterización del concepto de evolución:

> La evolución orgánica es una serie de transformaciones irreversibles, parciales o completas, de la composición genética de las poblaciones, basada principalmente en la alteración de las interacciones con su ambiente. Consiste principalmente en radiaciones adaptativas a nuevos ambientes, ajustes a cambios ambientales que tienen lugar en un hábitat particular, y el origen de nuevos modos de explotar hábitat existentes. Estos cambios adaptativos ocasionalmente dan origen a una mayor complejidad del patrón de desarrollo, de las reacciones fisiológicas y de interacciones entre las poblaciones y su ambiente (Dobzhansky *et al.,* 1977:8).

La única propiedad poblacional a que se hace referencia en esta caracterización es la composición genética. Las otras propiedades, tanto intrínsecas como relacionales, a que se hace referencia son organísmicas y no poblacionales. Valga esto sólo para mostrar cuán fácilmente los hábitos de lenguaje pueden ofuscar la claridad conceptual y la teorización apropiada.

De acuerdo con esta interpretación estándar, debemos asumir entonces que si lo que evoluciona son las biopoblaciones ("especies"), la población es la entidad que sufre un cambio cualitativo como totalidad, y que en consecuencia posee novedades cualitativas. ¿Pero qué novedades cualitativas (emergentes) pueden tener las poblaciones? Una respuesta podría ser que tal novedad cualitativa de una biopoblación estuviera reproductivamente (es decir, genéticamente) aislada de otras poblaciones, en particular de sus poblaciones madre y hermanas. Esta respuesta, por supuesto, no servirá, ya que la reproducción a que se hace referencia es sexual, y ésta es una propiedad organísmica (partenogénesis) o de la pareja en apareamiento (gonocorismo), no biopoblacional. Aunque podría argüirse que una población también puede, en cierto sentido, reproducirse, por ejemplo, emitien-

do poblaciones propágulo, ciertamente no es a esto a lo que se refiere la noción de aislamiento reproductivo. Es más, el aislamiento genético y reproductivo serían propiedades relacionales negativas. Sin embargo, como no hay propiedades negativas –*pace* Bock (1986:33) y otros, no existe una "propiedad de inexistencia de flujo génico"–, el aislamiento reproductivo es una no relación, y por lo tanto no es de ninguna manera una propiedad. (Para críticas biológicas del concepto de aislamiento reproductivo, véase, p. ej., Patterson: 1985; Cracraft, 1989.)

Las verdaderas propiedes incluidas aquí son ciertas *propiedades de los organismos*: genéticas, fisiológicas, morfológicas y –entre los animales– etológicas, que les permiten aparearse y reproducirse exitosamente sólo con organismos que comparten propiedades equivalentes. (Uno de los pocos en señalar esto explícitamente es Bock, 1986, aunque su concepción de las especies parece inconsistente.) Estas propiedades, a su vez, permiten a los organismos genética y reproductivamente equivalentes –es decir, los de una misma especie–, tomar parte en una comunidad reproductiva o biopoblación. Por lo tanto, las relaciones reproductivas de los organismos constituyen la cohesión de la biopoblación. Que una población sea de esta manera cohesiva, lo *indica* la observación de si los organismos de diferentes poblaciones se cruzan o no. En otras palabras, el aislamiento reproductivo es un *síntoma* de cohesión poblacional.

A partir de esto, debemos concluir que los organismos no pertenecen a la misma especie porque sean partes de alguna biopoblación, sino que sólo pueden ser partes de una biopoblación porque pertenecen a la misma especie. El concepto de una especie como tipo biológico, por ejemplo, definido por cierto conjunto de propiedades organísmicas que permiten la reproducción común, precede lógicamente al concepto de biopoblación como comunidad reproductiva (Bunge, 1979a; Mahner, 1994a). Pero ¿no es sencillamente al revés? ¿No poseen los organismos en cuestión ciertas propiedades comunes sólo porque son parte de la misma biopoblación y, particularmente, porque descienden de organismos que antes habían sido parte de la misma población? Aunque éste parece un problema del tipo de el del huevo y la gallina, puede resolverse fácilmente de manera evolutiva: la reproducción sexual es en sí misma una innovación evolutiva, que no puede haber evolucionado dentro de una comunidad reproductiva, esto es, mediante la evolución de una biopoblación. Así, la propiedad de reproducción sexual o, para el caso, la disposición a ella, precede a la formación de biopoblaciones no sólo lógica sino también históricamente (recuérdese también secciones 4.5 y 7.3).

Si, vista más de cerca, incluso la "propiedad" de aislamiento reproductivo se reduce a un conjunto de propiedades de organismos y de parejas sexuales, entonces apenas si quedan propiedades significativas que pudieran considerarse novedades evolutivas de las poblaciones como comunidades reproductivas. (Una propiedad semejante podría ser la estructura social; pero aun así presupone, para empezar, la existencia de una conducta social, esto es, una propiedad relacional de los animales individuales.) En realidad, *las innovaciones evolutivas son propiedades de los organismos*. Por lo tanto, toda novedad cualitativa debe ocurrir primero

en un solo organismo. Así, Cracraft (1990) define las *innovaciones prospectivas* como "cambios fenotípicos singulares que surgen en organismos individuales dentro de una población como resultado de una modificación en una o más vías ontogenéticas" (p. 27.) Si leemos 'fenotipo' en el sentido de 'fenotipo$_T$', como se aclaró en la sección 8.2.3.3, es decir, en el sentido del conjunto de tipos de rasgos de un organismo, y si recordamos que el genotipo$_{H,D}$ de un organismo es un subconjunto propio de su fenotipo$_T$, entonces cualquier cambio cualitativo en un organismo, ya sea en el nivel molecular o en el de órganos, es un cambio fenotípico, y por lo tanto un evento o proceso de desarrollo. (Véase también Johnston y Gottlieb, 1990.) Así, la definición de Cracraft es consistente con nuestro postulado 1.9, de acuerdo con el cual todos los procesos de desarrollo y evolución van acompañados de la emergencia y submergencia de propiedades genéricas.

Sin embargo, la definición de Cracraft es insuficiente para distinguir entre el simple cambio de desarrollo y el cambio evolutivo. Durante su desarrollo, un organismo sufre cambios cualitativos, pero estos cambios ocurren "dentro de su espacio nomológico de los estados", es decir que el organismo en desarrollo no cambia de tipo o especie. (En principio se podría, por supuesto, conceptualizar los cambios de desarrollo como cambios de tipo, pero sería teórica y prácticamente engorroso considerar cada etapa del desarrollo como una cosa de tipo nuevo.) Para dar cabida a cambios de tipo, debemos decir que el cambio fenotípico en cuestión da por resultado un carácter de un tipo que nunca antes había estado presente en organismos de esta especie. En otras palabras, algunos procesos de desarrollo transforman el organismo en cuestión en un organismo de un nuevo tipo o, más precisamente, de una nueva especie (ontológica.) Este evento o proceso de desarrollo es, entonces, un evento o proceso de especiación en sentido ontológico. (Cuidado: los biólogos hablarían aquí sólo de variedades o variantes, ya que no están tan interesados en las especies ontológicas como en las taxonómicas.) Estas perspectivas nos permiten definir la siguiente noción de especiación organísmica:

DEFINICIÓN 9.1. Represente s el estado de un organismo b de la especie B en algún tiempo t, y s' el estado de b en un tiempo t', donde $t' > t$. Finalmente designe B' una especie distinta de B. Entonces el evento $\langle s, s' \rangle$ es un *evento* (o *proceso*) *de evolución organísmica*, o un evento (o proceso) de *especiación organísmica* si y sólo si,

(i) $\langle s, s' \rangle$ es un evento (o proceso) de desarrollo, y
(ii) $b \in B$ en el tiempo t & $b \in B'$ en el tiempo t'.

Nótese que, si simbolizamos un evento de especiación con '$A \rightarrow B$', esta notación no implica que la especie A (como tipo) se transforme en la especie B. Tampoco implica que la especie A tenga que extinguirse después de dar origen a la especie B. Antes bien, lo que esta notación significa es el hecho de que alguna cosa de la especie A se convierta o produzca una cosa de la especie B. Un evento de especiación también puede ser de la forma $A + B \rightarrow C$, que indica que una cosa de la especie A y una cosa de la especie B se ensamblan, formando una cosa de

(nuevo) tipo *C*. Ejemplos de tales especiaciones por ensamblaje son la hibridación y la endosimbiosis que, se supone ocurrieron durante la evolución de la célula eucariótica. Finalmente, la especiación podría ser de la forma $A \rightarrow B + C$, que significa que una cosa de la especie *A* da origen (ya sea simultánea o subsecuentemente) a cosas de especies *B* y *C*. De nuevo, esta notación no implica que la especie ancestral se extinguió, ni que la formación de (los miembros de) las dos nuevas especies ocurrió simultáneamente (véase fig. 7.6).

Nótese también que hasta ahora nos hemos interesado sólo en la especiación ontológica, y por lo tanto en una noción muy general de novedad cualitativa. De acuerdo con esto, no nos ha importado si las novedades en cuestión son funcionales o adaptativas, o si el nuevo organismo es viable durante más de un período –en principio, podría tratarse de un monstruo sin la menor esperanza. Es más, nuestra noción de novedad cualitativa no coincide con la noción biológica de "innovaciones clave", tales como la "notocorda", la "pluma", etc., ya que estos complejos rasgos apenas si pueden haber evolucionado en un solo paso, sino que dependerían de varios cambios coordinados (Mayr, 1960; Thomson, 1988). Lo que resulta importante, sin embargo, es la idea de que las nuevas cualidades adquieran existencia mediante procesos de desarrollo, que son cambios cualitativos en organismos, no en poblaciones –una concepción enfatizada crecientemente por los biólogos (p. ej., Ho y Saunders, 1979; Gould, 1980; Thomson, 1988; Cracraft, 1989; Horder, 1989; Johnston y Gottlieb, 1990; Müller, 1990; Raff *et al.*, 1990; Müller y Wagner, 1991; Atkinson, 1992; Hall, 1992; Gilbert, 1994).

Desde un punto de vista ontológico, también es importante notar que lo que constituye la especiación en este caso es un cambio organísmico. Así, *los organismos son las entidades en especiación*. Los biólogos reconocerán al punto dicha especiación organísmica en ciertos casos, tales como los híbridos alopoliploides en plantas. Pero podrían sentirse incómodos con la definición 9.1 porque, en la mayoría de los casos, una nueva variante no constituye una especie en sentido biológico y taxonómico a menos que la variante se difunda y se fije en la población, y a menos que vaya acompañada de, o consista en, "aislamiento" reproductivo. Así, Cracraft (1990) distingue las innovaciones prospectivas de las *innovaciones evolutivas*, y a éstas las define como "cambios fenotípicos singulares que, de manera subsiguiente a su origen en organismos individuales, se difunden en una población y se fijan, caracterizando de este modo a esa población como un nuevo taxón evolutivo diferenciado" (p. 27).

En verdad, las nuevas cualidades y las especies en el sentido ontológico en que nos hemos interesado hasta ahora no necesariamente resultan significativas desde el punto de vista de la biología evolutiva. Sin embargo, lo que importa para el ontólogo es el cambio cualitativo involucrado en la especiación. El hecho de que los biólogos reconozcan sólo un subconjunto de todas las novedades cualitativas como novedades evolutivas, y sólo un subconjunto de las especies ontológicas como especies biológicas, se encuentra más allá de los intereses del ontólogo. Pero su tarea es señalar que, aun cuando la nueva variante se fijara en la población, ésta no sería aún como un todo cohesivo que tuviera que convertirse en el nue-

vo taxón evolutivo. La razón es que, aunque la biopoblación como un todo experimenta también de manera derivada un cambio cualitativo cuando sus componentes lo hacen, las novedades en cuestión son propiedades organísmicas y no poblacionales. Es más, como nos esforzamos por explicar en el capítulo 7, los taxones biológicos son clases (de organismos), no totalidades cohesivas. Por eso, el concepto de especie empleado es el de especie de organismos, no el de especie de poblaciones. Es más, como enunciamos antes, la noción general de especie como clase tiene prioridad lógica sobre la noción de biopoblación. Por eso el concepto de evolución poblacional usualmente empleado por los biólogos presupone el concepto de especiación organísmica. Esto se vuelve evidente en la siguiente definición, que es un intento de acercarnos a los intereses de los biólogos:

DEFINICIÓN 9.2. Designen B y B' dos especies diferentes de organismos. Además, representen s el estado de una biopoblación p con composición organísmica $C_O(p) \subseteq B$ en un tiempo t; s' el estado de p en t', y s'' el estado de p en t'', donde $t'' > t' > t$. Entonces, puede decirse que el proceso $\langle s, s', s'' \rangle$ es un proceso de *evolución poblacional* si y sólo si,

(i) hay al menos un organismo $x \in C_O(p) \subseteq B$ sufriendo un proceso de especiación organísmica durante el intervalo $[t, t']$, tal que $C_O(p, t') \subseteq B \cup B'$, y

(ii) hay un proceso de selección durante el período t, donde $t = [t, t'']$, entre todos los $x \in C_O(p, t)$, tal que $C_O(p, t'') \subseteq B'$.

Como la composición de la biopoblación p ha cambiado durante el período $[t, t'']$, tenemos derecho a considerar también a la población como un sistema cualitativamente nuevo, esto es, uno que ha experimentado un cambio de tipo. Lo mismo vale para la comunidad y el ecosistema de los cuales la población es parte. Por eso se justifica hablar de la evolución y coevolución de biopoblaciones y comunidades, aun si esta evolución sólo proviene de la evolución organísmica. Sin embargo, debemos tener en mente que son los organismos las unidades mínimas de especiación biológica y así unidades de clasificación biológica, no las biopoblaciones ni cualesquiera otros sistemas supraorganísmicos. Por lo tanto, sería erróneo creer que la población es *la* entidad en proceso de especiación y así *el* nuevo taxón evolutivo. Aunque sí tenemos un nuevo tipo de población, a nadie le interesan –en particular, al sistemático– los tipos de poblaciones. Lo que interesa son los tipos de organismos, ya sea que éstos compongan o no una población. Ésta es la razón de que la existencia de biopoblaciones sea sólo de interés accesorio para la sistemática, no importa cuán importante pueda ser para la evolución, en particular para los procesos de selección y adaptación. Por supuesto, al ecólogo también le interesan los tipos de entidades supraorganísmicas, tales como los ecosistemas de tundra, los ecosistemas de pluviselva tropical, etc. Pero ninguno de éstos aparece en la sistemática biológica, cuya meta es la clasificación de organismos (no de poblaciones), comunidades o ecosistemas.

Si los biólogos pensaran detenidamente en este tema, se inclinarían a llegar a conclusiones bastante similares. Así, nuevamente Cracraft (1989:47):

...si consideramos que las poblaciones son los individuos de una teoría de la diferenciación (especiación), y examinamos el contenido de esta teoría desde el punto de vista de las relaciones parte/todo de las poblaciones, resulta evidente que ni siquiera las poblaciones, como entidades cohesivas discretas, se especian ellas mismas. En vez de eso, el cambio es generado en los individuos, en los niveles del genoma y las vías de desarrollo. A veces estos cambios se fijan en poblaciones como variaciones del carácter diagnóstico a través de procesos que tienen por entidades a los organismos individuales. Si esta concepción del cambio evolutivo es correcta, entonces las poblaciones y especies no funcionan como entidades en la teoría de la especiación, más bien son los efectos de procesos en niveles inferiores.

Aún así, no todos los biólogos podrían estar convencidos. Después de todo, la Definición 9.2 asume que una biopoblación en algún momento está compuesta de organismos que pertenecen a dos especies diferentes. Es más, parece presuponer que la especiación consiste en eventos mutativos en vez de cambios pequeños acumulativos que eventualmente se suman para constituir una diferencia cualitativa más relevante (Mayr, 1960). Unas pocas observaciones más pueden, por lo tanto, funcionar bien.

Las dos definiciones precedentes son compatibles con la evolución tanto "gradual" como mutativa. En lo que respecta al cambio gradual, ponemos el término 'gradual' entre comillas porque sólo el cambio cuantitativo, tal como el movimiento, puede ser realmente gradual o continuo. Todo cambio cualitativo, es decir, adquisición o pérdida de una propiedad, es discontinuo o mutativo (recuérdese fig. 1.3). Así, al hablar de evolución gradual sólo podemos estar refiriéndonos a un cambio total a través de una secuencia de saltos cualitativos más o menos pequeños. Por ejemplo, en la interpretación estándar la evolución de una biopoblación a través de una serie de sustituciones alélicas se considera gradual, aunque cada sustitución alélica sea un salto cualitativo. Lo mismo vale, de paso, para la (re)combinación de alelos y sus efectos emergentes, si los hay, y *a fortiori*, para las macromutaciones, tales como las mutaciones homeóticas, así como para cualquier cambio en las vías de desarrollo, que en realidad puede ser bastante drástico pero sorprendentemente funcional debido a la plasticidad de los mecanismos de desarrollo (Müller, 1990).

Incluso en un modelo gradual de la evolución debe haber un primer individuo en la población, en el que una mutación adicional, o quizá una combinación de alelos heredados de sus progenitores, tenga un efecto emergente más o menos visible (Mayr, 1994). Por ejemplo, puede ser el último paso necesario para producir el "aislamiento" reproductivo con respecto a individuos fuera de su propia población. Nótese, sin embargo, que este cambio cualitativo es el evento de especiación, no -*pace* Mayr y sus seguidores- el ensayo del mecanismo de "aislamiento" en simpatría.

Por supuesto, el biólogo no hablará todavía de una nueva especie (biológica), sino que esperará hasta que la nueva variante se haya difundido en la población. Después de todo, no le interesa el monstruo ocasional sino sólo las novedades que

duran un tiempo significativo en la escala evolutiva. Para ello, los organismos novedosos en cuestión –tradicionalmente relegados al estatus de "materia prima de la evolución"– deben sufrir la selección natural y así, muy probablemente, un proceso de adaptación. Finalmente, si los organismos en cuestión forman linajes, biopoblaciones y linajes de biopoblaciones, de manera que pueden "persistir" durante un período (evolutivo) sin sufrir nuevas especiaciones, los biólogos estarán listos para reconocer una nueva especie biológica (o taxonómica.)

Para una mayor claridad, volvamos a enunciar qué sucede en términos del enfoque del espacio de los estados (véase fig. 7.3). En primer lugar, tenemos un número de organismos que comparten el mismo espacio nomológico de los estados, esto es, que pertenecen a la misma especie. Estos organismos pueden organizarse en una sola biopoblación, en varias poblaciones (que, a su vez, pueden ser parte de diferentes comunidades) o en ninguna. Recuérdese que formar parte o no de una biopoblación, en principio, no es de ninguna relevancia para la membrecía de una especie o taxón superior. Imaginemos ahora un organismo en una población, que experimenta un cambio cualitativo que lo "arroja" a un diferente espacio nomológico de los estados. Aunque diferente, este nuevo espacio nomológico de los estados tendrá una superposición significativa con el espacio nomológico de los estados de los demás organismos en la población. Si no, no sería posible reproducción sexual alguna con otro organismo en la población. (Recuérdese de las secciones 7.2.1.7-8 que los tipos biológicos vienen en grados.)

Agregar más y más cambios cualitativos a los organismos equivale a más y más cambios en su espacio nomológico de los estados. Eventualmente, después de que la nueva "variante" se difundió a toda la población, todos los organismos en ella compartirán –al menos durante algún tiempo– un espacio nomológico de los estados, final y estable. (Podemos ignorar aquí el polimorfismo simétrico.) Así, desde un punto de vista ontológico, tendremos una especie ancestral, un número de especies transitorias con pocos miembros, y una especie "final" a la cual eventualmente pertenecerán todos los organismos en la población. Para visualizar este proceso evolutivo, imaginemos una transformación del espacio nomológico de los estados bidimensional representado en la fig. 7.3a en otra de mayor dimensionalidad, mediante la inclusión de nuevos ejes. (Véase también fig. 1.3.)

En suma, los biólogos simplemente ignoran las especies (ontológicas) inicial e intermedias por ser evolutivamente irrelevantes, y se enfocan en las "buenas" y "estables" especies ancestral y descendiente, a las que se asigna el estatus de especie taxonómica. Y como todo esto ocurre en biopoblaciones, al menos entre organismos de reproducción sexual, no resulta sorprendente que confundan los cambios de organismos, es decir, la especiación propiamente dicha, con los cambios resultantes de las poblaciones. Así los procesos en poblaciones, que en realidad se encuentran subordinados a la especiación propiamente dicha, se ven como los eventos de especiación principales. Sin duda es necesario pensar en términos de poblaciones para entender el concepto de selección natural. Pero así como la biología del desarrollo no puede explicar por completo la bioevolución (véase Maynard Smith, 1983), tampoco pueden hacerlo la genética de poblaciones ni la teo-

ría de la selección. Sin embargo, el pensamiento poblacional o, si se prefiere, el *modelo variacional* de la evolución (Lewontin, 1983a) resultó bastante engañoso con respecto a la especiación y los temas relacionados, tales como el concepto de especie o la taxonomía biológica en general. En particular, sostenemos que el enfoque en términos de teoría poblacional es responsable de una de las ideas más engañosas en biología evolutiva: la creencia de que las especies deben ser mutables para que ocurra la evolución. Sin embargo, como hemos intentado mostrar, el concepto mismo de evolución presupone el concepto de especies como tipos (naturales o al menos biológicos; véase capítulo 7.2, y tales tipos son constructos, por lo tanto, ni mutables ni inmutables (recuérdese la definición 1.6).

9.1.3 *Especiación propiamente dicha y algunas de sus consecuencias*

Como a veces hablamos, por ejemplo, *del* proceso evolutivo o de *la* evolución de los mamíferos, deberíamos explorar brevemente las consecuencias del análisis precedente para tales expresiones. Si los organismos son las unidades primarias de la evolución (en el sentido de especiación), entonces el término 'evolución' no denota un solo proceso (individual.) Antes bien, hay tantos procesos evolutivos como organismos en proceso de especiación. Lo mismo vale para las biopoblaciones y comunidades como unidades (derivadas) de la evolución. Sólo si la biosfera como un todo fuese una unidad de evolución, tendríamos un solo proceso evolutivo o, en otras palabras, una entidad en cambio evolutivo. Así, en la mayoría de los casos la "evolución" es un concepto de clase: se refiere a la *colección* de todos los procesos evolutivos, ya sea en organismos, biopoblaciones o comunidades. Y, por supuesto, no existe la evolución de un linaje, porque los linajes son colecciones y no entidades mutables (recuérdese la definición 7.6).

Puesto que los procesos en las poblaciones dependen de la especiación propiamente dicha (es decir, especiación organísmica), no hemos tenido que distinguir entre la llamada *especiación filética* y la *especiación cladogenética*. Esta última se refiere a la división de las biopoblaciones en (al menos dos) poblaciones hijas, las cuales, ante la separación geográfica, experimentan procesos evolutivos diferentes hasta que finalmente tienen la suficiente divergencia genética como para quedar reproductivamente aisladas de su población o poblaciones hermanas. (Véase fig 7.5.) También se creía que este proceso de "especiación" alopátrica daría cuenta del aumento en el número de especies durante la evolución. En cambio, con "especiación filética" los biólogos expresan la transformación gradual de una biopoblación a través del tiempo, sin división y por lo tanto divergente. Por eso, en este caso las especies no se multiplicarían sino que se sucederían unas a otras.

El concepto de especiación filética o anagenética fue comúnmente aceptado durante mucho tiempo. Sin embargo, debido al predominio del modelo alopátrico de especiación, que incluso se considera *el* modo de especiación que justifica la taxonomía cladista, muchos biólogos arguyen ahora que no importa qué cambios cualitativos pueda experimentar una población a lo largo del tiempo, siem-

pre sigue siendo la misma especie a menos que se escinda en dos o más poblaciones hijas, que subsecuentemente evolucionarán de modo diferente. Incluso argumentan que no tiene sentido distinguir especies diferentes en un continuo, porque sólo se podría hacerlo de manera arbitraria.

Obviamente, los conceptos de especiación tanto filética como cladogenética se apoyan en la frecuente confusión entre "población" y "especie". Lo que en realidad sucede en ambos casos es que los organismos que pertenecen a una especie dan origen a organismos que pertenecen a otra especie nueva. El hecho de si la población (o el "*pool* génico") ha sido escindida o al menos perturbada (p. ej., llevada a un "cuello de botella") antes de la especiación propiamente dicha, es de interés secundario. Por supuesto, la escisión de poblaciones, en particular la ramificación de una pequeña población, parece ofrecer condiciones favorables para la fijación de nuevas variantes en la población hija. Pero subsiste el hecho de que, desde un punto de vista ontológico, el evento de especiación esencial es la emergencia de nuevas variantes, no su distribución subsiguiente. Así, la especiación alopátrica no es sino especiación filética (facilitada) en dos poblaciones hijas después de algún evento de separación.

En cuanto a la negación de la existencia de especiación filética, pasa por alto el hecho de que los cambios cualitativos de los organismos son objetivos, de manera que a los organismos que constituyen alguna población "longeva" en realidad debe asignárseles diferentes espacios nomológicos de los estados. Como estamos hablando de espacios nomológicos de los estados de los organismos, no de poblaciones, el ontólogo hablará de una nueva especie (ontológica) apenas encuentre un solo organismo de nuevo tipo. El biólogo, en cambio, hablará de una nueva especie (biológica o taxonómica) sólo en el caso de que las nuevas variantes aparezcan como un morfo estable en la población (polimorfismo) o toda la población consista de organismos del nuevo tipo. No hay perjuicio en este procedimiento que, es más, resulta razonable desde el punto de vista biológico, a menos que las poblaciones no se equiparen con especies.

Algunos biólogos arguyen que, aun si sólo una de entre dos poblaciones hijas fuera a evolucionar desarrollando "mecanismos aislantes" o cualesquiera otros rasgos nuevos, la población hermana –aunque no hubiera cambiado cualitativamente–, también debería considerarse una nueva especie debido a la nueva relación de aislamiento entre las dos poblaciones hermanas (véase, p. ej., Willmann, 1985). Si esto fuera verdad, un no evento (ausencia de cambio cualitativo) y una no relación (aislamiento reproductivo) se combinarían para producir la especiación. Esta peregrina idea ha sido propuesta para dar respaldo ontológico al requerimiento metodológico de la taxonomía cladista de que, siempre que fuera posible, las colecciones de organismos se transformarían dicotómicamente en taxones hermanos. Aunque éste es un principio metodológico razonable, difícilmente podemos esperar que la naturaleza lo cumpla siempre, ya que la especiación ontológica es predominantemente dicotómica. (Véase también Nelson y Platnick, 1981; Mayr, 1988; Splitter, 1988; Kitcher, 1989a; Mahner, 1994a.)

Nuestra definición del concepto de evolución en términos de especiación

equivale a lo que se conoce bajo los rótulos de 'evolución transespecífica' o 'macroevolución'. De paso, esto vale para los conceptos de especiación tanto ontológico como taxonómico (o biológico): mientras que la microevolución en sentido biológico, es decir, la acumulación gradual de pequeños cambios cualitativos en una biopoblación (o, más precisamente, en los componentes organísmicos de la población), muy bien puede producir una secuencia de especies ontológicas, el biólogo sólo considera los cambios "significativos" y de algún modo "persistentes", fundamento para hablar de una especie biológica, y por lo tanto de evolución transespecífica. Aun así, siempre que nos importen las especies ontológicas o taxonómicas, no puede haber en realidad microevolución propiamente dicha, ya que los procesos microevolutivos son por definición cambios intraespecíficos. De hecho, en lo tocante a procesos de selección y adaptación entre organismos en poblaciones, la macroevolución precede a la microevolución (Mahner, 1994b). Esto es, la emergencia de organismos de nuevo tipo debe preceder claramente a su clasificación en la población, que eventualmente puede llevar a su fijación en ella. Ésta es nuestra lectura (libre) de la afirmación de Gould de que "la especiación, al formar nuevas entidades [...] suministra materia prima para la selección" (Gould, 1980, p:124). Nos abocaremos ahora a la selección.

9.2 LA TEORÍA DE LA SELECCIÓN NATURAL

Antes de que podamos abordar la teoría de la selección propiamente dicha, necesitamos recordar la noción de ajuste, que distinguiremos del concepto de aptitud. (Véase también Byerly, 1986.)

9.2.1 *El ajuste y la aptitud*

En la sección 4.8 hemos elucidado las nociones de adaptación y ajuste. Al hacerlo, nuestra definición de "ajuste" (definición 4.18) se refiere al funcionamiento fisiológico y ecológico de un biosistema. Así, no hemos identificado el ajuste de un organismo con su aptitud, la cual entendemos que es su capacidad reproductiva (véase también Endler, 1986; Lennox, 1991, 1992b). El ajuste debería distinguirse de la aptitud porque el primero es una propiedad relacional, mientras que la segunda es una propiedad disposicional intrínseca (Mills y Beatty, 1979; Sober, 1984; Beatty y Finsen, 1989). El que esta disposición sea o no una propensión aleatoria y, en consecuencia, el concepto de aptitud pueda o no elucidarse en términos de probabilidades es asunto de debate (Richardson y Burian, 1992; Rosenberg, 1994). Creemos que la aptitud no es una propensión aleatoria, aunque su realización esté sujeta a accidentes externos. Esto, sin embargo, no convierte a la disposición misma en una propiedad probabilística. Otra razón para distinguir entre el ajuste y la aptitud es que no todos los organismos adaptados son, al mis-

mo tiempo, reproductivamente aptos (véase sección 4.2). Esto es, incluso los organismos bien adaptados pueden tener aptitud (replicativa) nula, como es el caso de los organismos estériles como las mulas y ciertas castas de insectos eusociales. En contraste, un biosistema no puede tener un ajuste nulo porque esto significaría estar muerto. Por lo tanto, el valor de ajuste de un organismo puede representarse mediante un número real positivo en el rango $0 < a \leq 1$, mientras que el rango de valores de aptitud ϕ, es $0 \leq \phi \leq 1$. (Véase M.B. Williams, 1970. Para distinciones y análisis de diferentes conceptos de aptitud véase Dawkins, 1982; Byerly, 1986; Endler, 1986; Byerly y Michod, 1991; de Jong, 1994; van der Steen, 1994.)

Como distinguimos entre ajuste y aptitud, debemos *postular* una relación entre el grado de ajuste de un organismo capaz de reproducción y su grado de aptitud. Éste es:

POSTULADO 9.1. El (grado de) ajuste de un organismo (co)determina su (grado de) capacidad reproductiva o *aptitud*. Más precisamente, cuanto mayor es el (grado de) ajuste de un organismo, mayor es su (grado de) capacidad reproductiva o *aptitud*.

Esta dependencia de la aptitud con respecto al ajuste también vale en el caso de la reproducción sexual. Por ejemplo, la capacidad de discriminar entre las parejas de apareamiento más o menos aptas es relevante para el ajuste individual. Sin embargo, el valor de aptitud con relevancia selectiva es el valor de aptitud compuesto de la pareja de apareamiento; algo similar sucede con las sociedades animales compuestas en su mayoría por morfos estériles y sólo unos pocos individuos reproductores. Aquí, el valor de aptitud de los pocos individuos reproductores depende no sólo de su propio ajuste sino también del de los morfos estériles que son parte del sistema social. Sin embargo, deberíamos tener presente que los miembros de las castas estériles pertenecen al ambiente del, o de los organismos reproductores. Esto muestra que el ajuste y la aptitud de un organismo pueden aumentarse manipulando o incluso produciendo ítems ambientales valiosos (véase Lewontin, 1983a, b).

De acuerdo con la definición 4.18, el grado de ajuste de un organismo en un hábitat dado, esto es, su desempeño, resulta determinado por los biovalores de todas sus aptaciones, adaptaciones, nulaptaciones y malaptaciones; y también por su valor de aptitud, de acuerdo con el postulado 9.1. Así, el valor de ajuste de un organismo en un tiempo dado no es sólo la suma de los biovalores de sus subsistemas (incluyendo sus funciones y roles), sino un valor sistémico debido a la integración funcional de todos los subsistemas en el organismo. A tal punto, que los miembros de dos taxones muy diferentes A y B pueden tener el mismo valor de ajuste (y también de aptitud) debido a diferentes rasgos y roles en su hábitat (común o diferente.) Por esta razón, se ha puesto de moda decir que el ajuste de un organismo, o su aptitud, respectivamente, "superviene" sobre sus propiedades "físicas" (Rosenberg, 1978, 1985, 1994; Sober, 1993). Si aquí 'físico' es el adjetivo para 'física', entonces la propiedad ecológica del ajuste no sólo supervendría so-

bre las propiedades físicas del organismo, sino también sobre las químicas y las biológicas. Si, en cambio, 'físicas' sólo significa 'materiales', entonces la noción de superviniencia no tiene sentido para nosotros, porque todas las propiedades de las cosas concretas, ya sean intrínsecas o relacionales, son materiales. De cualquier manera, como hemos argüido en la sección 1.7, no empleamos la noción de superviniencia.

Nótese, sin embargo, que la llamada superviniencia tanto del ajuste como de la aptitud no representa un obstáculo para hablar de ajuste y aptitud en general ni para la existencia de una teoría genérica de la selección que contiene un concepto general de ajuste o aptitud. Aunque es de esperar que haya diferentes leyes (específicas) de ajuste y selección para cada familia, género o incluso especies de organismos -p. ej., el ajuste específico de un insecto es diferente del de un ave- todavía necesitamos una teoría genérica de la selección, aunque sea de tipo caja gris, o negra (recuérdese secciones 3.4.3 y 3.5). Hay muchos casos análogos en otros campos. Por ejemplo, hay alrededor de diez millones de reacciones químicas, cada una de las cuales con su propio mecanismo, pero todas ellas satisfacen la ley básica de la cinética química (que trata sobre la velocidad a la que las reacciones ocurren). De esta manera, la ley de la velocidad es el rasgo universal común a todas las reacciones específicas, y tiene perfectamente sentido contar con una teoría general de la cinética química. Sin embargo, ¿qué se ganaría diciendo que esta ley "superviene" sobre las leyes distintas específicas? O, para ponerlo en términos punzantes, ¿qué comprensión se gana diciendo que la "calcetinidad" universal superviene sobre las propiedades particulares de sus calcetines y los nuestros?

Como en una teoría genérica de la selección las nociones de ajuste o de aptitud son conceptos fenomenológicos (o genéricos), esto es, no especificados en términos de rasgos y ambientes particulares que constituyen el ajuste o aptitud particulares de los organismos involucrados, Rosenberg (1985) ha afirmado que el concepto de aptitud (que equipara con "ajuste" tal como aquí se define) debería figurar como una noción primitiva (esto es, no definida) en cualquier teoría semejante. Aunque es verdad que "aptitud" es un concepto no específico en una teoría general de la selección, es erróneo decir que en consecuencia debe ser un concepto primitivo. En realidad, si deseamos referirnos a los rasgos particulares de los organismos de una especie en particular, debemos especificar o particularizar la teoría general de la selección; es decir que debemos enriquecer la teoría general con supuestos subsidiarios que especifiquen las particularidades de los referentes específicos en consideración. (En otras palabras, debemos generar un modelo teórico a partir de la teoría general: recuérdese sección 3.5.3.2.) Pero esto no tiene nada que ver con una definición propiamente dicha: para hacerlo, no se "define" el concepto de aptitud en términos de rasgos particulares. El que este concepto figure o no en una teoría, como primitivo o como noción definida, es materia de organización o estructura de la teoría, no de su grado de generalidad. Por ejemplo, si una teoría general de la selección hubiera de contener nuestra definición 4.18, "ajuste" sería en esta teoría un concepto definido. Sin embargo, seguiría siendo un

concepto genérico en una teoría general, a partir del cual debemos generar un modelo teórico (ligado) a fin de referirnos a algo en particular.

Volvamos a la distinción ajuste-aptitud. Esta distinción también se adecua al concepto de *ajuste relativo*. Sin embargo, antes de que podamos definir este concepto, necesitamos la noción de ambiente común de dos o más organismos. Por razones obvias, sólo tiene sentido comparar el desempeño de dos o más organismos con respecto a aquellos ítems ambientales que son comunes a ambos (Brandon, 1990, 1992; Bell, 1992). Es más, necesitaremos la noción de ambiente común para definir el concepto de selección.

Como se recordará de la sección 1.7.2, el ambiente (próximo o inmediato antes que total) de un sistema es la colección de todos los ítems ambientales que pueden actuar sobre el sistema dado, o sobre los que el sistema en cuestión puede actuar. En nuestro análisis del concepto de selección, al menos tres nociones de ambiente resultarán relevantes. Primero tenemos el ambiente del organismo individual: si b denota un organismo, entonces $E(b)$ designa el ambiente (inmediato) de b. Nótese que los organismos que acompañan a b en la población dada, ya sean coespecíficos o no, pertenecen a $E(b)$. Segundo, tenemos el ambiente común de los organismos en una población p, que se construye como la intersección de los ambientes individuales (véase definición 9.3). Este ambiente común a todos los organismos en p puede coincidir (pero no necesariamente) con el ambiente $E(p)$ de la población como un todo, donde p es un agregado o un sistema. Obviamente, los organismos que componen la población p no pertenecen a $E(p)$. El ejemplo siguiente ayudará a ilustrar estas distinciones.

Supongamos que un sistema s está formado por dos componentes 1 y 2, y hay cuatro ítems a, b, c y d en el ambiente total de s, esto es, $E_T(s) = \{a, b, c, d\}$. Supongamos además que el componente 1 interactúa con el componente 2 –después de todo, éstos constituyen un sistema–, así como con los ítems a, b, y c. Esto es, el ambiente inmediato E de 1 es la colección $\{a, b, c, 2\}$. Supongamos, en cambio, que el componente 2 interactúa con el 1, así como con los ítems b, c, y d. Esto es, el ambiente inmediato E de 2 es la colección $\{b, c, d, 1\}$. Entonces, el ambiente inmediato que 1 y 2 tienen en común es $E(1) \cap E(2) = \{b, c\}$, y el ambiente inmediato de s equivale a su ambiente total en vez del ambiente común de sus dos componentes individuales. Si, en contraste, $E(1) = \{a, b, c, d, 2\}$ y $E(2) = \{a, b, c, d, 1\}$, entonces $E(1) \cap E(2) = E_T(s) = \{a, b, c, d\}$. Así, el ambiente (inmediato) común de todos los componentes de un sistema debe distinguirse del ambiente (inmediato) del sistema como un todo.

La noción de ambiente común (inmediato) de los componentes organísmicos de una población queda elucidada por:

DEFINICIÓN 9.3. Denote p una población de organismos i con ambiente (inmediato) E_i, donde la composición organísmica C_O de p es una colección finita de organismos que contiene al menos dos miembros. Entonces, el ambiente común de todos los componentes organísmicos i de p, es decir el ambiente compartido por todos los organismos p, es

$$E_C = \bigcap_{i=1}^{n} E_i$$

Como se mencionó antes, este ambiente común E_C de todos los componentes de p puede ser igual (aunque no necesariamente) a $E(p)$. Ahora estamos listos para definir la noción de ajuste relativo:

DEFINICIÓN 9.4. Denoten b y c organismos de la misma o diferentes especies, pero con un ambiente común $E_C = E(b) \cap E(c)$, y denote a el grado de ajuste o valor de ajuste de un organismo. Entonces b, con respecto a los ítems en E_C, está *mejor adaptado* que c en relación con E_C si $a(b) > a(c)$.

Como apenas si estamos en condiciones de comparar directamente valores de ajuste, debemos confiar en indicadores. Un indicador del ajuste relativo de dos organismos b y c con ambiente común E_C puede ser la observación de que b deja más descendencia (viable y fértil) que c. Como el éxito reproductivo relativo de dos o más organismos es un *indicador* de su ajuste relativo, no podemos definir el concepto de ajuste en términos de éxito reproductivo, ya que éste sería un error operacionista (Rosenberg, 1985; Lennox, 1992b; Mahner, 1994a). A partir del postulado 9.1 y la definición 9.4 inferimos que si b con E_C está mejor adaptado que c con E_C, el valor de aptitud ϕ de b será más alto que el de c. Esta inferencia se explicita en:

COROLARIO 9.1. Cuanto mayor es el ajuste relativo de dos organismos b y c con ambiente común E_C, tanto mayor es su aptitud relativa. Esto es, $\phi(b) > \phi(c)$, si y sólo si $a(b) > a(c)$.

Aunque la definición 9.4 y el corolario 9.1 puedan parecer bastante triviales, no lo son, porque ayudan a aclarar las relaciones de los conceptos de ajuste (aptitud_1), de aptitud (aptitud_2) y de éxito reproductivo real o aptitud darwiniana (aptitud_3). Para medir esta última y distinguirla de los resultados de la mera tendencia aleatoria debemos hipotetizar que la capacidad reproductiva o aptitud propiamente dicha determina el éxito reproductivo real. Esto es, establecemos:

POSTULADO 9.2. El grado de éxito reproductivo (total) de un organismo depende de su (grado de) aptitud. Más precisamente, cuanto mayor es la aptitud de un organismo, tanto mayor es su éxito reproductivo real (total.)

Ahora podemos obtener:

COROLARIO 9.2. Cuanto mayor es el (grado de) ajuste de un organismo, tanto mayor es su éxito reproductivo real (total.)

COROLARIO 9.3. Cuanto mayor es el ajuste relativo de dos organismos b y c con ambiente común E_C, tanto mayor es su éxito reproductivo relativo (real) d. Esto es, $d(b) > d(c)$, si y sólo si, $a(b) > a(c)$.

Nótese que la correlación (determinística) entre aptitud$_2$ y aptitud darwiniana es aún más débil que entre ajuste y aptitud$_2$. Esto se debe a que factores selectivos accidentales pueden ejercer una influencia sobre el número de descendencia de dos individuos igualmente aptos. El ejemplo proverbial es el par de gemelos idénticos, esto es, dos individuos igualmente adaptados y por lo tanto aptos, uno de los cuales es fulminado por un rayo antes de que pueda realmente reproducirse. Por lo tanto el éxito reproductivo real es un indicador altamente ambiguo de aptitud y ajuste. La ambigüedad se ve más aumentada por el hecho de que no podemos observar directamente las dependencias de ajuste, aptitud y aptitud darwiniana en los individuos. En lugar de eso, debemos operar con valores promedio de ajuste y de aptitud de los organismos en una población, e inferimos estos promedios a partir de la correlación estadística del éxito reproductivo promedio de los organismos (de un cierto tipo) en una población, con la posesión y distribución de ciertos rasgos de un cierto tipo –aptaciones y adaptaciones– de estos organismos. (Más sobre la relación entre carácter, desempeño y éxito reproductivo, así como con su medición, en Arnold, 1983.)

Por esta razón, las hipótesis anteriores usualmente se formulan en términos estadísticos, esto es, en términos de organismos en poblaciones semejantes y en términos de promedios. Sin embargo, estas nociones estadísticas bien pueden ser meros dispositivos heurísticos, y no se sigue de ellas que la teoría misma sea irreduciblemente estadística o probabilística (Rosenberg, 1994). Así, a fin de hacer hincapié en que son realmente los organismos los que están adaptados, nos apegamos a nuestras formulaciones idealizadas en términos de individuos. También, por la misma razón, parece que la noción de aptitud como capacidad reproductiva no desempeña ningún papel en la teoría de la selección (Byerly, 1986). Aun así, aunque quizá no por razones prácticas, necesitamos este concepto de aptitud por razones teóricas porque relaciona la noción de ajuste con la de éxito reproductivo real.

Mientras que los morfólogos, fisiólogos y ecólogos se interesan en el ajuste *per se*, los biólogos evolutivos se interesan más en el concepto de ajuste en la medida en que se relacione con la aptitud y la aptitud darwiniana, esto es, en la medida en que constituye la base para el concepto de selección natural.

9.2.2 *Conceptos de selección*

Como la palabra 'selección' aparece en el lenguaje ordinario, el concepto técnico de selección en biología es notoriamente tan tramposo como los de función y adaptación. En particular, la cuestión de qué tipos de entidades son capaces de sufrir un proceso de selección ha sido objeto de debate durante varios años. Este problema se conoce como la controversia de las unidades de selección. (Véase, p. ej., Lewontin, 1970; Brandon y Burian, eds., 1984; Sober, 1984, 1993; Lloyd, 1988, 1992; Sober y Wilson, 1994.) Sin emt urgo, no sólo es motivo de controversia cuáles son las unidades de selección, sino también qué tipo de procesos puede decirse que constituyen la selección (véase, p. ej., Endler, 1986).

Como el problema de la unidad de selección es uno de los temas más intensamente discutidos en la biofilosofía contemporánea, no intentaremos dar un análisis detallado de las diversas posiciones en este debate. Sólo expondremos nuestra opinión en la materia y enunciaremos algunas de las implicaciones para las distintas posiciones que compiten en esta controversia. Comencemos por distinguir varios conceptos de selección, el primero de los cuales es tan general que ha de considerarse un concepto ontológico.

9.2.2.1 Un concepto ontológico de selección

Todo proceso individual de selección debe ser una secuencia de cambios en alguna cosa o, si se prefiere, una secuencia de eventos (recuérdese sección 1.5). Como no hay eventos o procesos en sí mismos, sino sólo cosas que pueden sufrir cambios sucesivos, para empezar debemos asumir una cosa o sistema cambiante. Como todo sistema (excepto el universo) se caracteriza por algún ambiente *E*, podemos decir que dado un número de ítems ambientales en *E*, una cosa compleja (o sistema) *b* -ya sea una molécula, un cristal, un organismo o lo que fuere- será o no capaz de existir, en relación con *E*(*b*). (Nótese que como hemos definido el ambiente *E* de una cosa como una colección, no podemos decir propiamente que una cosa existe *en* su ambiente *E*. Si lo hacemos, debemos tener presente que se trata de una elipsis.) La cosa cambiante, entonces, es el sistema compuesto por *b* y los ítems en *E*(*b*). En otras palabras, la interacción del individuo *b* con los ítems ambientales en *E*(*b*) es, en el sentido más general, el *proceso* concreto de selección, que resulta en la existencia continuada o en la eliminación de *b* con referencia a *E*(*b*). (Véase también Bock y von Wahlert, 1965; Tuomi, 1992.)

De nuevo, como el ambiente de un sistema ha sido definido como una colección, no una cosa, no podemos hablar propiamente de una interacción cosa-ambiente. Por lo tanto debemos hacer hincapié en que la expresión 'interacción cosa-ambiente' es una abreviatura para la interacción de una cosa con cualquiera de los ítems coleccionados en su ambiente *E*. Ahora podemos (elípticamente) decir que la selección en el sentido ontológico es cualquier interacción *b*-*E* que afecte la existencia continuada de *b* en *E*. La existencia continuada de una cosa en su ambiente *E* se denomina usualmente 'supervivencia'. Sin embargo, esta denominación es muy a menudo engañosa porque sólo de las cosas vivientes puede verdaderamente decirse que sobreviven. (Es interesante que ni los biólogos ni los filósofos parecen preocuparse por esta distinción ontológicamente significativa, y en cambio permanecen atrapados en el lenguaje ordinario, que permite que casi cualquier cosa "sobreviva".)

Sostenemos que todos los procesos de selección individuales involucran una interacción cosa-ambiente, que puede decirse que es el *proceso básico de selección*. En otras palabras, hay tantos procesos de selección como sistemas cosa-ambiente. En consecuencia, el concepto básico de selección como interacción cosa-ambiente vale para cada cosa en el universo, y es así un concepto ontológico. Como el resultado de todo proceso individual de selección es la existencia continuada

de una cosa o su eliminación, en el ambiente dado, la llamamos *selección todo-o-nada* (individual), o de manera breve *selección 1/0*. Más precisamente, proponemos:

DEFINICIÓN 9.5. Denote b una cosa con ambiente E. Entonces, todas las interacciones entre b y las cosas en $E(b)$ que afectan la subsistencia de b con respecto a E se denominan *selección individual todo-o-nada*.

Hasta aquí, la selección 1/0 involucra a la interacción de una sola cosa o individuo con los ítems en su ambiente. Sin embargo, esta noción aún carece de una importante connotación del concepto de selección en biología: los aspectos de *un ordenamiento*, que presupone la existencia de más de una cosa en un hábitat dado. (Véase Vrba y Gould, 1986.) El próximo paso en nuestro análisis es, entonces, ampliar nuestro concepto básico de selección 1/0 individual a agregados (no necesariamente sistemas) de cosas. Esto es, introducimos el concepto de población como un agregado de individuos, ya sea uni- o multiespecífico. (Nótese que un agregado ha sido definido como una cosa, no como una colección: véase sección 1.7. Lo que sí es una colección o una clase es la composición del agregado.) Ahora, la selección consiste en reducir la composición C de una población p de cosas x con un ambiente común E_C a algún subconjunto C_A de p, durante algún intervalo de tiempo: la colección de partes de p mínimamente aptadas (véase también Bunge 1979a) .

Ahora estamos listos para formular:

DEFINICIÓN 9.6. Denomínese $C(p, t)$ la composición de una población p de sistemas (de la misma o diferentes clases) con un ambiente común E_C en algún tiempo t. Es más, denomínese s_E: $C(p) \rightarrow C_A(p)$ a la función de inclusión de $C(p)$ en $C_A(p)$, donde $C_A(p) \subseteq C(p)$. Entonces, la *selección 1/0 poblacional* es aquel conjunto de interacciones entre todos los miembros de $C(p)$ y los ítems en E_C durante el intervalo $[t, t']$, donde $t' > t$, que producen el ordenamiento s_E: $C(p, t) \rightarrow C_A(p, t')$.

En otras palabras, los miembros del ambiente común E_C ejercen una acción selectiva sobre todos los miembros de $C(p)$ durante un intervalo, de manera tal que, en un tiempo posterior, p consiste sólo de los miembros de $C_A(p)$. Aunque ahora sea poblacional, sigue siendo un concepto de selección todo-o-nada. Esto es, los miembros de $C(p)$ son capaces de subsistir en E_C debido a que poseen ciertas propiedades (aptaciones), o son eliminados. Si los miembros de una población tal son organismos, decimos, en caso de supervivencia, que su valor de ajuste es positivo, es decir, que están mínimamente aptados o, en caso de muerte, que su valor de ajuste es nulo. (Nótese que aún no necesitamos el concepto de aptitud.) Ahora, el resultado de este proceso de selección sobre las cosas en una población de éstas es su *existencia diferencial*. Nuevamente, sólo si hubiera cosas vivientes involucradas deberíamos hablar de supervivencia diferencial o de mortalidad diferencial.

La selección todo-o-nada, que resulta en la supervivencia diferencial, es el con-

cepto que subyace en las nociones clásicas de la "lucha por la existencia" y la "supervivencia del más apto". Darwin definió la "selección natural" de esta manera: "A esta preservación de las variaciones favorables y rechazo de las variaciones dañosas, la llamo Selección Natural" (1859:81; véase también Simpson, 1953; Goudge, 1961). Sin embargo, la teoría de la selección natural moderna contiene un concepto diferente de selección: se enfoca en procesos de selección que resultan en la reproducción diferencial antes que en la supervivencia diferencial. Aunque la supervivencia diferencial también puede resultar en la reproducción diferencial, la primera no es necesaria para que ocurra la reproducción diferencial. Este concepto de selección, más amplio, el cual es básicamente independiente del concepto de supervivencia diferencial, se presenta a continuación.

9.2.2.2 Selección natural

Enseguida, asumamos que los componentes de una población p *difieren* en ciertas propiedades. Esto es, supongamos que la composición de p se caracteriza por lo que los biólogos denominan 'variabilidad' o 'variación'. (Nótese que, mientras que en otros campos de investigación "variabilidad" usualmente significa mutabilidad a lo largo del tiempo, el concepto biológico de variabilidad es una noción poblacional en el sentido de "diversidad": es un atributo de la colección de los componentes de una población, no una propiedad [sustancial] de sus componentes individuales, ni una propiedad de la población como totalidad o individuo concreto. Así, estrictamente hablando, no existe una "variabilidad individual". Lo que es una propiedad de la población, sin embargo, es tener una composición variable.) La variabilidad comprende tanto la posesión de diferentes propiedades genéricas como de diferentes propiedades individuales (esto es, diferentes valores de propiedades genéricas.) En otras palabras, la variabilidad puede ser cualitativa y cuantitativa.

Si ahora sometemos a los componentes de una tal población p al proceso, o mejor dicho a los procesos de selección 1/0, sólo quedarán los miembros de $C_A(p)$. Es decir, subsisten aquellos individuos que están mínimamente aptados con respecto a su ambiente común E_C. Si p consta de organismos, decimos, como antes, que su valor de ajuste es positivo. En principio, el resultado de este proceso de selección puede predecirse si conocemos las propiedades relevantes de los individuos y de los ítems en su ambiente. No hace falta decirlo, esta predicción en la práctica es un tema diferente.

Supongamos además que los miembros de la colección $C_A(p)$ son organismos que varían en su grado de ajuste. Así, como se hizo notar en las secciones 4.8.3 y 9.2.1, su valor de ajuste a puede encontrarse entre 0 y 1, o más precisamente, $0 < \alpha \leq 1$. De acuerdo con esto, habrá diferencias en las continuas interacciones organismos-ambiente. Sin embargo, estas diferencias no afectan la continuidad de la existencia, esto es, la sobrevivencia, de los miembros de $C_A(p)$, sino el *desempeño* de los organismos en E_C. En otras palabras, el ajuste diferencial lleva al *desempeño diferencial*. (Éste es un ejemplo de distinción estado-proceso.) Nótese que 'de-

sempeño diferencial' no se refiere a un proceso individual en una población, porque la población no necesariamente es un sistema: lo que ocurre en realidad son diferentes procesos individuales en un agregado de organismos, que se comparan entre sí. Así, no es la población como un todo la que sufre un proceso de selección, sino los *individuos* en una población de tales. Si alguna población p como un todo hubiera de sufrir un proceso de selección, p debería ser parte de una población de poblaciones –una metapoblación– y debería interactuar como un todo con algunos ítems en su ambiente $E(p)$. (Véase también Brandon, 1990.)

Contrariamente a la selección 1/0, los desempeños diferenciales de los biosistemas en una población son necesarios, pero no suficientes, para que ocurra la selección natural, porque el desempeño diferencial no lleva a un *ordenamiento de* los miembros de $C_A(p)$. Si está implicado algún ordenamiento, éste es el de la descendencia de los biosistemas en cuestión. Para llegar a dicho ordenamiento, debemos considerar la capacidad de los biosistemas para reproducirse. El desempeño diferencial puede entonces afectar su capacidad reproductiva o aptitud. En otras palabras, su aptitud puede depender de su desempeño, el cual a su vez depende de su ajuste; y su aptitud puede eventualmente resultar en éxito reproductivo real o aptitud darwiniana (véase postulados 9.1 y 9.2, así como Arnold, 1983). Ahora podemos llamar a estos desempeños o interacciones diferenciales que afectan la aptitud y eventualmente el éxito reproductivo, *selección por desempeño*, o de manera abreviada, *p-selección*. La selección por desempeño, entonces, resulta en reproducción diferencial, y la selección se ha convertido en un mecanismo transgeneracional de sorteo. Más precisamente, establecemos:

DEFINICIÓN 9.7. Designe C_A la composición de una población p de organismos diferencialmente adaptados del mismo tipo con un ambiente en común E_C, y designe D la colección de descendientes inmediatos de los miembros de C_A. Entonces, la *p-selección* es aquel conjunto de interacciones organismo-ambiente de los miembros de C_A que da por resultado en el ordenamiento s_E: $C_A \to 2^D$ de la descendencia de los miembros de C_A.

(2^D es el conjunto de potencias de D, es decir, la familia de los subconjuntos de D, incluyendo D y $\varnothing$. De esta manera, todo valor de la función de ordenamiento s_E es un subconjunto de D.) Evidentemente, en el caso de la reproducción sexual la composición C de la población debe dividirse en machos y hembras, esto es, C_M y C_F, de manera que la función de ordenamiento se leerá s_E: $C_M \times C_F \to 2^D$.

Para resumir, el término 'selección' designa varios conceptos diferentes. Éstos son: el concepto general de selección 1/0 en sus formas individual y poblacional (o estadística) y el concepto, más restringido, aunque todavía general, de *p*-selección, que es un concepto estadístico. El concepto de selección 1/0 se usa cuando la supervivencia o la muerte de un biosistema están en juego. Es más, este concepto parece presuponerse cuando algunos biólogos dicen que "un organismo siempre está sujeto a selección". En verdad, todo organismo está sujeto a selección 1/0 en cualquier estado de su historia, en particular durante su desarrollo. Y todo subsistema de un organismo se encuentra sujeto a selección 1/0 con

respecto a su propio ambiente, es decir, el resto del organismo. Esto se denomina a veces 'selección interna'. Sin embargo, 'selección interna' es un nombre inapropiado, porque no es el organismo como un todo el que directamente sufre un proceso de selección, sino algunos de sus subsistemas. Por supuesto, como los organismos son sistemas altamente integrados, es muy posible que la falla de cualquiera de sus subsistemas afecte al organismo como un todo, de manera que eventualmente se halle sujeto a la selección 1/0 misma.

En cambio, las entidades *en una población de tales* que (a) varían en su grado de ajuste, es decir, que están diferencialmente adaptadas, (b) poseen la propiedad de replicabilidad (ya sea por sí mismas o como parejas de apareamiento), y (c) varían en su capacidad reproductiva o aptitud, es decir, que son diferencialmente aptas, pueden sufrir un proceso de *p*-selección (véase también Lewontin, 1970; Endler, 1986). Repetimos: variabilidad, ajuste diferencial y aptitud diferencial, ni son rasgos de individuos aislados ni propiedades de la población como una totalidad concreta: son atributos de la composición de la población, o sea, de la colección de sus componentes organísmicos. Lo que es una propiedad de la biopoblación como totalidad, sin embargo, es estar compuesta de organismos diferencialmente adaptados o diferencialmente aptos. Es más, para que ocurra la selección no es necesario que la población sea un sistema: basta con que sea un agregado de individuos.

En suma, sólo hay procesos de *p*-selección individuales: la interacción de alguna entidad con algunos ítems ambientales, la reproducción de esta entidad, y el consecuente cambio en la composición de la población de entidades en cuestión. El término general 'selección' designa la colección de tales procesos de selección individual. Así, la selección no es una fuerza -*pace* Sober y Lewontin (1982) y Sober (1984)-; tampoco es un agente: al no ser una cosa, no puede "actuar" sobre cosa alguna.

9.2.2.3 Selección natural como mecanismo de evolución poblacional

Ni la selección 1/0 ni la *p*-selección tienen hasta ahora algo que ver con la evolución propiamente dicha. Esto es, una teoría de la selección es, en principio, independiente de cualquier teoría de la evolución. Sin embargo, el mecanismo de ordenamiento transgeneracional antes mencionado puede convertirse en un mecanismo de evolución o, más precisamente, de evolución poblacional (véase definición 9.2), si el desempeño de la descendencia "de alguna manera" depende del desempeño de sus ancestros. Usualmente se asume que el "de alguna manera" de esta dependencia consiste en la herencia de las aptaciones y adaptaciones en cuestión. Más precisamente, se dice que los grados de ajuste y aptitud de un organismo deben ser heredables (véase, p. ej., Lewontin, 1970; Endler, 1986; Brandon, 1990). Sin embargo, como vimos en la sección 8.2.4 que sólo puede decirse que el estado inicial del cigoto es genuinamente heredado (no puede decirse lo mismo de estado posterior alguno, en particular de relaciones con ítems ambientales), sólo podemos afirmar que el ajuste y la aptitud deben ser herencia-depen-

dientes. Si éste es el caso, tenemos que enfrentarnos con lo que se denomina usualmente 'el concepto de evolución por selección natural'.

Debería notarse, sin embargo, que la selección natural (como mecanismo de evolución poblacional) no es básicamente diferente de la selección que no lleva a la evolución. En ambos casos, el proceso básico es el mismo: consiste en una interacción cosa (en una población)-ambiente, que resulta en la replicación diferencial de las cosas en cuestión. La diferencia radica en la *herencia*, de manera que los ordenamientos transgeneracionales repetidos pueden acarrear cambios continuos y direccionales en la composición de las sucesivas generaciones. Por lo tanto, la teoría de la selección natural explica sólo el cambio continuo de las frecuencias de genotipos$_O$ y fenotipos$_O$ en las poblaciones, y de esta manera también el cambio de frecuencias de todos los subsistemas organísmicos, tales como los genes.

Sin embargo, la teoría de selección natural no da cuenta, ni puede darla, de la especiación propiamente dicha, es decir, la emergencia de organismos cualitativamente nuevos. Por esta razón es incorrecta la afirmación de que la selección natural es un "proceso de dos pasos" (Mayr, 1988), el primero de los cuales consiste en la producción de la variación, y sólo el segundo en la selección propiamente dicha. Lo mismo vale para la popular afirmación de que la selección natural es creativa. El hecho de que la selección natural favorece o elimina ciertos fenotipos$_O$ en poblaciones de tales nada tiene que ver con creatividad propiamente dicha –un concepto que implica la producción de algo nuevo. Después de todo, no atribuimos creatividad al público que favorece o ignora las obras de un artista: sólo puede decirse que el artista mismo es genuinamente creativo. En verdad, como se ha dicho adecuadamente, "la selección natural es sólo el editor del cambio evolutivo, no su autor" (Simon, 1971:177; véase también Wassermann, 1981).

Cualquier proceso genuinamente creativo en la evolución sólo puede ser un proceso de desarrollo (véase definición 9.1). Sin embargo, como la biología del desarrollo nunca ha sido parte de la teoría sintética, no resulta sorprendente que se haya intentado contrabandear la noción extraña de creatividad en la teoría de la selección natural, afirmando que la selección es un "proceso de dos pasos". Por eso, insistimos en que el hecho de que la teoría de la selección presuponga la existencia de variación no la vuelve a ella misma creativa. En verdad, como vimos en la sección 9.1, la especiación en sentido ontológico debe preceder a la selección. Sin embargo, la teoría de la selección da cuenta de la prevalencia o la frecuencia de caracteres (o, más precisamente, de organismos que poseen los caracteres en cuestión) en una población (Sober, 1984; Endler, 1986).

Al enfocarse en la selección como un mecanismo evolutivo, los biólogos evolutivos están interesados más a menudo en los resultados de la selección que en el proceso ecológico mismo de *p*-selección. Así, muchos de ellos (véase, p. ej., Ayala, 1970; Futuyma, 1986) no usan en absoluto la noción de proceso ecológico con respecto a la selección, y en cambio igualan a la selección con su resultado, la reproducción diferencial. (Para una revisión de tales enfoques véase Bradie y Gromko, 1981; algunos ejemplos de éstos también son suministrados por Rosenberg 1985:127.) Sin embargo, esto es erróneo.

Primero, aunque el resultado de un proceso de selección (poblacional) siempre consiste en un ordenamiento de las partes organísmicas de una población, no todo ordenamiento es necesariamente el resultado de la selección (Vrba y Gould, 1986). La tendencia aleatoria, por ejemplo, también lleva al ordenamiento de las partes de una población. Segundo, definir "selección" meramente en términos de ordenamiento es un error operacionista, porque necesitamos que el concepto de selección se refiera a un proceso ecológico (junto con los conceptos de ajuste diferencial y aptitud diferencial) si ha de *explicar* el patrón de ordenamiento observado, tal como reproducción diferencial (Brady, 1979; Brady y Gromko, 1981; Vrba, 1984; Damuth, 1985; Rosenberg, 1985; Vrba y Gould, 1986; Lloyd, 1988; Darden y Cain, 1989; Brandon, 1990; Lennox, 1992b). La reproducción diferencial es un *indicador* de selección, no una selección en sí misma (Mahner, 1994a). Esto también vale para aquellos casos en que todo lo que parece haber es reproducción diferencial. Por ejemplo, el crecimiento diferencial de dos cepas de bacterias en un medio con exceso de nutrientes parece depender sólo de los diferentes tiempos intrínsecos de división de las dos cepas, no de algún proceso ecológico. Sin embargo, las velocidades de división de las dos cepas dependen de los nutrientes, temperatura, pH, etc. Cámbiese cualquiera de ellos, o todos, y la otra cepa puede crecer más rápido, porque sus miembros están mejor adaptados a este nuevo ambiente que sus competidores, que estaban mejor adaptados en las condiciones anteriores.

9.2.3 *Las unidades de selección*

9.2.3.1 ¿Qué es una unidad de selección?

Como la selección 1/0 es un concepto ontológico, vale para todas las cosas. No así la *p*-selección: aquí tenemos que especificar varias propiedades que permiten a ciertas entidades sufrir un proceso de *p*-selección, léase: (a) existencia en una población de entidades semejantes, (b) ajuste (diferencial), (c) capacidad de reproducirse y (d) aptitud (diferencial.) Estas propiedades son evidentemente poseídas por la mayoría de los organismos, y por esto es que hemos formulado nuestra definición de *p*-selección con referencia a cosas vivientes. Sin embargo, ahora podemos preguntar si hay otras entidades, aparte de los organismos, que también posean estas propiedades. De ser así, puede decirse que todas las entidades que posean las propiedades necesarias son *unidades de selección*, o, más precisamente, unidades de *p*-selección. Como la expresión 'unidad de selección' se halla en el centro de una controversia continua, será conveniente comenzar con una clarificación de la noción de unidad.

Distinguimos dos tipos de unidad: *unidad de proceso* y *unidad de análisis* o *descripción*. Una unidad de proceso es, por supuesto, una unidad material: es justamente aquella cosa que está sufriendo el proceso en cuestión. Como mencionamos en la sección 1.5, abstraer procesos de las cosas que experimentan dichos procesos, y formar así clases de procesos, puede llevarnos a perder de vista a las cosas cam-

biantes en cuestión. Por lo tanto, éstas deben más tarde recuperarse como "unidades" de procesos en la clase de procesos dada. En contraste, una unidad de análisis o descripción es una unidad conceptual o referencial. Referencial si es cualquier sistema perteneciente al nivel de sistemas central para nuestros intereses de investigación. Conceptual si es un concepto que no se puede definir en términos de conceptos más simples en el contexto dado. Por ejemplo, en lógica el concepto de identidad se toma como básico (o primitivo), y en sistemática el concepto de organismo se toma como indefinido y se usa para definir el de especie.

Sostenemos que lo que se discute en biología evolutiva es, antes que nada, la unidad material (o unidades materiales) de la selección, esto es, aquella cosa o aquellas cosas capaces de sufrir un proceso de *p*-selección. Cualquier entidad tal capaz de sufrir un proceso de *p*-selección se ha denominado *interactor*. Un interactor es "una entidad que interactúa como una totalidad cohesiva, directamente con su ambiente, de tal manera que esta interacción causa que la replicación sea diferencial" (Hull, 1988:408; véase también Hull, 1980:318.) Esta definición reconoce, correctamente, la selección como una interacción cosa-ambiente. Sin embargo, hay dos problemas con esta definición. El primero es que no puede decirse que una entidad singular se replique *diferencialmente*. Sólo pueden hacer eso los individuos en una población. El segundo es que, en nuestra opinión de la causación no puede decirse que la interacción cosa-ambiente referida *cause* replicación: sólo puede decirse que *condiciona* el éxito reproductivo de los individuos en cuestión (recuérdese sección 1.9.) Podemos decir que un evento *causa* la replicación de algún organismo sólo si hay un estímulo ambiental que desencadena un proceso reproductivo en el organismo en cuestión; pero éste es, a lo sumo, un caso muy especial de la definición de Hull de un interactor. Aparte de estas fallas (menores), resulta obvio que los interactores son las unidades materiales de los procesos de selección. (Véase también Lloyd, 1988.) Por lo tanto, el problema de las unidades de selección se refiere a la *selección de* objetos (materiales), no a las propiedades que subyacen al éxito selectivo del individuo en cuestión, es decir, *selección para*, en términos de Sober (1984.) Más sobre esto a continuación.

9.2.3.2 Genes, gametos, células y organismos

¿Qué cosas pueden experimentar un proceso de *p*-selección? Primero, los fragmentos de ADN "chatarra" o "egoísta" parecen capaces de interactuar con metabolitos celulares, es decir, algunos de sus ítems ambientales, de tal manera que son reproducidos diferencialmente dentro de la célula. La (composición de la) población en cuestión es el conjunto de los genes en la célula, esto es, el genoma celular. Nótese que, en este caso, la autorreplicación no es una propiedad intrínseca de los genes en cuestión: son reproducidos pasivamente por la maquinaria enzimática celular. Segundo, y de manera similar, algunos genes y algunas partes de cromosomas son diferencialmente replicados en lo que se denomina *expansión meiótica* (Lewontin, 1970; Futuyma, 1986; Pomiankowski y Hurst, 1993). Esto es, en vez de distribuirse igualmente durante la meiosis, algunos ge-

nes son capaces de interactuar con los metabolitos celulares de manera tal que se incluyen más copias de ellos en los gametos. Tercero, en principio, ciertas moléculas, organelos y células como totalidades son capaces de replicarse diferencialmente con respecto a otras moléculas, organelos y células en un organismo pluricelular. Un ejemplo extremo son las células cancerosas. Es más, la formación de anticuerpos en el sistema inmunológico puede involucrar procesos de selección (Darden y Cain, 1989). Cuarto, los organismos sin duda son unidades de selección –un hecho concedido incluso por defensores del seleccionismo génico tan acérrimos como Dawkins (1982.) Debería notarse, sin embargo, que sólo las células y organismos, es decir, los biosistemas, poseen la propiedad intrínseca de la autorreproducción. Esto es, el ambiente sólo provee las condiciones para que la reproducción ocurra, mientras que en todos los demás casos, en particular en el de los genes, son los ítems ambientales los que hacen la reproducción. La entidad reproducida sirve así sólo como una matriz para la replicación. Aun así, el resultado final es el mismo.

9.2.3.3 Grupos o poblaciones

Mientras que los ejemplos anteriores de selección génica y organísmica no parecen ahora tan problemáticos, la noción de selección de grupo es todavía controvertida porque la expresión 'selección de grupo' se refiere a (por lo menos) dos casos diferentes de selección (Arnold y Fristrup, 1982; Maynard Smith, 1984; Sober, 1984; Mayo y Gilinsky, 1987; Damuth y Heisler, 1988; Lloyd, 1988; Brandon, 1990). En realidad, esta diferencia se refleja en la existencia de modelos de selección de grupo de dos tipos. En los del primer tipo, la unidad de selección es el organismo individual, pero los valores de ajuste y aptitud de los individuos dependen de ser parte de un sistema (de individuos), esto es, un "grupo". Piénsese en la selección frecuencia- y densidad-dependiente. Esto es, los valores de ajuste y aptitud de los organismos en cuestión son propiedades suyas *estructuralmente* emergentes (véase sección 1.7). Recuérdese que para que ocurriera la *p*-selección ya tuvimos que asumir que los organismos viven en poblaciones, pero era suficiente que dichas poblaciones fueran meros agregados, no sistemas. Por lo tanto, los grupos (poblaciones) a que se hace referencia en este primer tipo de modelos de selección de grupo son sistemas. Aun así, la unidad material de la selección es el organismo individual.

Una de las razones de que este primer tipo de modelos de selección de grupo se refiera en primer lugar a grupos es la dificultad de distinguir apropiadamente las propiedades individuales de las grupales, y las propiedades de los atributos, en particular los artificios estadísticos (recuérdese sección 1.7). Un ejemplo de lo primero es la confusión de caracteres pangrupales o panespecíficos –llamados *monomórficos*– de los organismos con propiedades de grupo o especie (véase, p. ej., Vrba, 1984, Stidd y Wade, 1995). Sin embargo, incluso si todos los organismos en una cierta población poseen la misma propiedad, ej., color, es ontológicamente erróneo atribuir esta propiedad a la población como un todo. La pobla-

ción (o "especie") no tiene color, ni se desarrolla, eclosiona de un huevo, come, digiere, excreta o se aparea. En resumen, aun si una propiedad es específica para la especie o, más generalmente, para el taxón, nunca es una propiedad de la especie o del taxón.

En cambio, puede culparse a los modelos matemáticos de selección de grupo, que operan con caracteres promedio (p. ej., estatura promedio, valores promedio de aptitud, etc.), por la confusión de propiedades colectivas con genuinas propiedades de grupo. Se dice que estos promedios son propiedades colectivas, agregadas o de grupo, y a veces se les denomina incluso 'fenotipos grupales', de manera que dichos modelos son supuestamente modelos de selección de grupo. Sin embargo, tales atributos colectivos no representan propiedades de los individuos de la población, ni propiedades resultantes o emergentes del grupo como totalidad (*pace* Ereshefsky 1988 *et al.*). Por ejemplo, un organismo en particular tiene una estatura, forma, longitud o lo que fuere, individuales, pero no caracteres promedio, aun si los caracteres coincidieran con el promedio. (Véase también Horan, 1994.) Y los grupos (como totalidades) no son largos ni altos, y *a fortiori* no tienen longitud o estatura promedio. Antes bien, tales atributos colectivos son meros artificios estadísticos que no tienen estatus ontológico en absoluto. En otras palabras, estos atributos (o predicados) estadísticos no representan propiedades sustanciales. Moraleja: no toda herramienta analítica o conceptual –no importa cuán importante o indispensable pueda ser– necesariamente tendrá una contraparte en el mundo real. (Sin embargo, *pace* Rosenberg, 1994, de esto no se sigue una concepción instrumentalista de las teorías biológicas.)

Los modelos del segundo tipo se refieren a selección de grupos genuina en que la unidad de selección sí es el grupo como totalidad. Esto es, los grupos en cuestión, ya se denominen 'grupos', 'demes', 'poblaciones' o lo que fuere, ocurren en una población de tales (a veces denominada la 'metapoblación'), y los valores de ajuste y aptitud son propiedades (genuinas) del grupo. En este caso, el grupo (como totalidad) debe interactuar con algún o algunos ítems ambientales, de manera que la reproducción del grupo como totalidad, por ejemplo, mediante la producción de grupos-propágulos, o sea, diferencial en comparación con los otros grupos en la metapoblación. En otras palabras, debe haber un desempeño diferencial del grupo, que no se reduce (ontológicamente) a los desempeños de los componentes individuales.

En consecuencia, estamos de acuerdo con aquellos autores que sostienen que debe existir alguna propiedad emergente (global) del grupo, es decir alguna aptación grupal, para que ocurra la selección de grupo genuina (véase, p. ej., Vrba, 1984). En otras palabras, debemos presuponer un ajuste grupal. Sin embargo, considerando que los artificios estadísticos no cuentan, ¿qué propiedades grupales significativas hay aparte de la propiedad, bastante trivial, de densidad de población? Por ejemplo, si los grupos en cuestión son sistemas sociales, una propiedad emergente significativa es la estructura social, tal como la división del trabajo, según se observa en el caso de los insectos eusociales. Así, los grupos sociales podrían tal vez superar a los no sociales.

Si fuera así, la evidencia para una selección de grupo genuina parece definivamente no concluyente (véase, p. ej., Mayr, 1988; Cracraft, 1989; Brandon, 1990). Es más, el análisis de los casos posibles de selección de grupos se ve plagado y entorpecido por el hecho de que a menudo no se distingue apropiadamente entre los modelos de selección de grupos tipo I y tipo II. Por ejemplo, ¿es realmente un caso de selección de grupo, cuando los grupos que contienen individuos de comportamiento altruista (usualmente) superan a los grupos que sólo contienen individuos egoístas (Wilson, 1989)? Después de todo, la conducta es una propiedad individual, aunque relacional, pero no una propiedad grupal, y menos todavía una aptación grupal. En conclusión, el problema de la selección de grupos seguirá con nosotros durante un tiempo, aunque la distinción entre modelos de tipo I aplicados a organismos con propiedades estructuralmente emergentes, y modelos de tipo II aplicados a grupos como totalidades con propiedades globalmente emergentes ayudaría a aclarar los puntos involucrados (recuérdese la definición 1.9).

9.2.3.4 Especies y clados

Obviamente, las nociones de selección de especies y clados presuponen que las especies y clados son individuos concretos. Como, en la sección 7.3, hemos demostrado que esta tesis se encuentra seriamente errada, y como consideramos que las especies y taxones superiores son clases y no cosas, casi no hace falta decir que no pueden estar involucradas en proceso de selección alguno. (Véase también Bock, 1986.) En realidad, en nuestra opinión, la idea de que las especies y los clados puedan ser unidades de selección "no sería falsa sino que francamente no tendría sentido" (Hull, 1988:400).

Sin embargo, aunque asumiéramos para los fines de la discusión que las especies y clados fueran objetos materiales, la aplicación del concepto de selección sería cuestionable. El hecho de que, por ejemplo, un clado contenga un centenar de especies y el otro sólo cinco ha sido considerado un ejemplo del "éxito diferencial" de los clados, y, en consecuencia, de selección. Pero sólo muestra cuán engañosa es la definición operacionista de la selección en términos de reproducción diferencial. El éxito diferencial de los clados, si correspondiera, debería explicarse en términos del proceso ecológico de *p*-selección entre una población de especies o clados. Esto, a su vez, presupone aptaciones de la especie o el clado (Vrba, 1984). Como apenas si hay alguna aptación significativa de los grupos (como totalidades) dentro de la misma especie, sostenemos que el éxito de los clados, si hubiera tal, sólo podría deberse a las propiedades de los miembros individuales del clado. (Véase también Damuth, 1985; Mayr, 1988.) En la medida en que los organismos estén bien adaptados y así se desempeñen bien, podrá decirse que la especie o el taxón superior al que pertenecen también está "bien adaptado". Sin embargo, todo esto es lenguaje metafórico desprovisto de poder explicativo alguno. El hecho de que los diferentes números de subtaxones dentro de un taxón superior puedan formularse en lenguaje de selección, o incluso mode-

lizarse mediante análogos de selección de grupos, no garantiza que todo ese ejercicio en realidad se refiera a algún proceso real en la naturaleza. Sirvan como testimonio todas las teorías metafóricas de la "evolución conceptual" o la "evolución de la ciencia".

Aunque algunos autores han advertido que las especies y clados no son interactores (p. ej., Damuth, 1985; Eldredge, 1985a; Wiley, 1989), ellos creen que al menos las especies pueden ser tales en el caso en que una especie consiste en una sola población. Sin embargo, incluso esto es imposible, ya que descansa sobre la confusión de una clase singular (esto es, un conjunto con un miembro único) con su miembro único; pero $x \neq \{x\}$. Además, los miembros o elementos de la especie, por lo tanto de los taxones superiores, son organismos y no poblaciones.

Otros han intentado defender la selección de especies mediante la referencia a propiedades panespecíficas (Stidd y Wade, 1995). Si un carácter es monomórfico, no hay variación intraespecífica –reza el argumento– y por lo tanto no hay selección dentro de la especie (población.) Por lo tanto, los organismos monomórficos de una especie pueden, a lo sumo, competir con organismos de una especie diferente (quizá con un carácter monomórfico diferente.) Así, la selección se desplaza al nivel de especie. Claramente, todo esto se apoya en la confusión de propiedades organísmicas con propiedades de la especie. Una propiedad específica para la especie de un organismo sigue siendo una propiedad organísmica, no una de la especie. Así, a lo sumo hay *selección para* propiedades específicas de las especies de organismos. Sin embargo, (todavía) no nos interesa la "selección para" propiedades sino la *p*-selección *de* individuos. Pero entonces no se requiere que haya variación intraespecífica. Lo que es necesario es la variación intrapoblacional, donde la población en cuestión también puede ser una población multiespecífica, en la que los organismos que varían, se desempeñan y reproducen diferencialmente con respecto a un ambiente en común. (Nótese que no es necesario que las poblaciones en cuestión sean comunidades reproductivas.) En realidad, para que ocurra la selección resulta irrelevante si las variantes en cuestión pertenecen a la misma especie, a especies diferentes, o incluso a diferentes taxones superiores; y también es irrelevante si las variantes forman dos subpoblaciones monomórficas. Aún tenemos selección organísmica o grupal, pero no selección de especies.

En suma, puede darse cuenta de lo que se cree la selección de especies y clados mediante modelos de selección organísmica, grupal (poblacional), y quizá incluso comunitaria, pero no puede haber una selección de especies y clados. Sin embargo, puede haber "selección para" propiedades de organismos que sean específicas de la especie o el clado, pero esto no tiene que ver con las unidades materiales de la selección.

9.2.3.5 Unidades de descripción

Los modelos matemáticos de procesos evolutivos en genética de poblaciones usualmente se enuncian en términos de genes o genotipos. El hecho de que to-

dos los procesos de selección puedan en verdad modelarse en términos de coeficientes de selección de genes o genotipos es una de las razones detrás de la afirmación de Williams (1966, 1992a) y Dawkins (1976, 1982) de que los genes son las unidades (últimas) de la selección. (Véase también Sterelny y Kitcher, 1988.) Además Dawkins afirma que el problema de las unidades de selección no se relaciona con interactores sino con aquellas entidades que "se benefician" de la selección a largo plazo: los genes. En otras palabras, el problema de las unidades de selección no sería acerca de los interactores sino de los llamados "replicadores". Lo que estaría en cuestión, entonces, es la "supervivencia" y "replicación" (diferenciales) a largo plazo, de los genes (léase: tipos de gen), genotipos o linajes de genes. Por lo tanto el fenotipo$_O$ no sería sino un vehículo transitorio de los genes (potencialmente) inmortales.

Rechazamos esta opinión por las siguientes razones. Primero, el hecho de que algunos modelos de selección se refieran a genes no garantiza que esta referencia capture los objetos reales en cuestión (Sober y Lewontin, 1982; Sober, 1984; Lloyd, 1988; Godfrey-Smith y Lewontin, 1993). Por ejemplo, el modelo puede ser una supersimplificación sesgada por una perspectiva microrreduccionista. Es más, cualquier subsistema o rasgo de un organismo puede, en principio, ser el referente de un modelo de selección. Después de todo, en la literatura biológica hay muchos enunciados del tipo "En la sabana, un pie de soporte es de mayor valor selectivo que un pie prensil". Sin embargo, ni genes ni pies son entidades capaces de reproducirse de manera autónoma. Por lo tanto, no tiene sentido ontológico atribuirles valores de aptitud. (Si lo hacemos, de nuevo es un caso de simplificación.) Segundo, es erróneo hablar de supervivencia en el contexto de la replicación o reproducción, porque el remplazo de un individuo por un individuo hijo en un linaje nada tiene que ver con supervivencia. Incluso si "supervivencia" se concibe meramente como "existencia continua" o "perpetuación", el problema es que no se dice que se perpetúen cosas complejas, sino estructuras (véase también, Hull, 1980; Rosenberg, 1994.) Sin embargo, las estructuras no son físicamente separables de los sistemas concretos: sólo pueden distinguirse analíticamente. Tercero, el supuesto de que lo que se replican son estructuras revela el tipo de metafísica que se esconde detrás del seleccionismo génico o la selección de replicadores. Esta ontología se pone de manifiesto cuando leemos una reciente afirmación de G.C. Williams (1992a:11): "Un gen no es una molécula de ADN; es la información transcriptible codificada por la molécula". Esto es el viejo platonismo en un moderno atuendo informacionista. (Para más de esto, véase Gliddon y Gouyon, 1989, p. ej.) Así, lo que supuestamente se "beneficia" de la replicación (en el sentido de que la replicación asegura su "supervivencia") es la información, aunque, como admiten Williams y Dawkins, sólo a través de sus "portadores" o "vehículos" materiales. Sin embargo, la manera en que las no entidades sobrevivan, sean beneficiarias de algo o incluso tengan intereses, como les gusta decir a los sociobiólogos, sigue siendo el misterio de los seleccionistas génicos. En suma, falla el intento de Williams de disolver la controversia de las unidades de selección mediante la distinción de "dos dominios de selección mu-

tuamente excluyentes", uno sobre entidades materiales y el otro sobre información.

Si rechazamos el platonismo informacionista porque no sólo asume que las estructuras pueden desprenderse de las cosas ("vehículos"), sino que de alguna manera *tienen prioridad* sobre ellas o son más importantes, entonces los *tipos* de gen y los geno*tipos* de que tratan los modelos de la genética de poblaciones deben concebirse como unidades conceptuales, no materiales. Para evitar malentendidos: las unidades conceptuales y de referencia no son unidades de información en un reino propio, esto es, no tienen estatus ontológico como en las versiones del platonismo de la información de Dawkins o Williams. Sólo son unidades de análisis o descripción. Esto es, los modelos genético-poblacionales *hacen abstracción* de las cosas vivientes que realmente experimentan el proceso de selección y *describen* la selección en términos de la replicación y aptitud de genes o genotipos, como si estos últimos realmente sufrieran el proceso de selección. Pero esto no los vuelve más adecuados o realistas. (Una analogía física es el estudio geométrico de las trayectorias de cuerpos. Pero aquí nadie afirma que sean las trayectorias, en vez de los cuerpos, lo que realmente se mueve.)

Tales casos de confusión entre abstracción ontológica y metodológica muestran que los modelos del seleccionismo génico son meros modelos idealizados que usan una unidad de análisis, mientras que los modelos ecológicos se refieren a una unidad material de un proceso, tal como un organismo. Al conferir estatus ontológico a sus abstracciones, los seleccionistas génicos cometen la falacia de reificación. Sólo las unidades materiales (en diferentes niveles de sistemas) pueden sufrir un proceso de selección. En lo que respecta a los genes, entonces, sólo una pieza de ADN concreta, que es un interactor, puede ser una unidad de selección –si contamos como replicación a la replicación pasiva. En suma, no vemos utilidad para la noción de replicador como diferente de la de interactor. (Para una defensa reciente de la distinción replicador-interactor y el concepto ampliado de replicador, véase Sterelny *et al.*, 1996.)

Hasta ahora, hemos tratado de la selección *de* entidades como interactores, rechazando el seleccionismo génico sobre la base de que no se refiere a las unidades materiales de selección y en cambio se limita a modelar la selección en términos de alguna unidad de análisis. (Esta última estrategia también se conoce como el argumento de la *representabilidad*: véase, p. ej., Sober y Lewontin, 1982; Lloyd, 1988.) Sin embargo, Sober (1984) ha afirmado que podría haber una concepción alternativa de las unidades de selección, en el caso de que un gen (o cualquier otro componente de un organismo) en cuestión sea la *causa* de la selección *de* la entidad de nivel superior de la cual es parte. En otras palabras, Sober ha intentado resolver el problema de las unidades de selección distinguiendo la selección *de* entidades, de la selección *para* la posesión de algún carácter, que podría ser la "causa" del proceso de selección. Después de todo, un organismo se encuentra sujeto a selección porque posee ciertas propiedades, por ejemplo, aptaciones, adaptaciones, malaptaciones, etc. Así, si un gen x "causa" alguna propiedad fenotípica y, entonces, habrá selección *para* (o contra) x, aun cuando el organismo

completo que posee *y* es la unidad de selección *de*. En este sentido, se dice que el gen *x* es una unidad de selección *para*.

Esta sugerencia se encuentra sujeta a las siguientes objeciones. Primero, de acuerdo con nuestro desarrollo de la causación, que es completamente diferente del de Sober, y el cual vimos en la sección 8.2.3.2, no puede decirse que los genes ni ninguna otra cosa sean la causa de algo: sólo los eventos calificados pueden ser causas o efectos. Segundo, aun si pudieran serlo, la cadena causal del gen para el carácter fenotípico consistiría en muchos pasos intermedios, todos los cuales podrían considerarse causas de la etapa final. (La relación causal es transitiva.) Es más, podría decirse que todos los pasos intermedios del desarrollo se "benefician" del proceso de selección, esto es, también podría haber selección *para* todos los estadios intermedios. Y, tal como el gen en cuestión "se autorreplica" al ser "transmitido" a la generación siguiente, también los pasos intermedios del desarrollo: ellos también son "replicados" durante el desarrollo del organismo descendiente. (Cuidado, todo esto son elipsis: recuérdese sección 8.2.4.3.) Por lo tanto, la entidad o el paso en el proceso de desarrollo en el cual nos enfocamos son sólo una cuestión de interés. Por lo tanto, las unidades de la *selección para* siguen siendo unidades de análisis o descripción. Esto no quiere decir que sea irrelevante saber qué genes u órganos hay involucrados en la interacción organismo-ambiente que denominamos 'selección': todo lo contrario. Sin embargo, el hecho de que podamos distinguir las partes selectivamente relevantes de un organismo de las irrelevantes no implica que los subsistemas organísmicos sean independientes de la totalidad viviente. Después de todo, parafraseando a Lewontin (1983a), sólo los sistemas vivientes son el "sujeto y objeto de la evolución".

Para concluir, la distinción entre la *selección de* (entidades) y la *selección para* (propiedades) es útil si se interpreta como una distinción entre las unidades materiales de la selección y las unidades de análisis o descripción. Las últimas pueden o no describir las "causas" de la selección. Pero sostenemos que el problema de las unidades de selección concierne sólo a las unidades materiales de selección. De esta manera, nuestra conclusión concuerda con la de Walton (1991), quien sugirió distinguir lo que llamamos las *unidades* (materiales) de la selección, de lo que denominó las *bases* de la selección, es decir, los rasgos que subyacen al proceso de selección.

9.2.3.6 "Tamizado" y unidades de selección

Los seleccionistas génicos arguyen que, como el genotipo "causa" el fenotipo, que a su vez "causa" el éxito reproductivo de un organismo, y como la relación causal es transitiva, el genotipo se halla después de todo tan directamente sujeto a la selección como el fenotipo. Es más, como los genes son las "causas últimas" involucradas, una explicación de la selección en términos de genes sería más profunda que una explicación en términos fenotípicos. Sin embargo, pese a estos argumentos, muchos biólogos sostienen que "la selección actúa sobre los fenotipos, no sobre los genotipos" (Mayr, 1963.) Es decir que en un proceso de selección indivi-

dual, los ítems ambientales usualmente interactúan con el organismo como un todo pero no directamente con su ADN, el que está bien resguardado en su interior. (La irradiación puede ser una excepción para esta generalización. Aun en este caso, sin embargo, la aptitud del organismo no resultaría inmediatamente afectada por un cambio en la propia molécula de ADN, sino sólo por su posterior efecto metabólico, si hubiera, sobre el resto del organismo.)

A fin de precisar la opinión según la cual el fenotipo es la (más relevante) unidad de selección, así como de defenderlo contra el seleccionismo génico, Brandon (1990) ha sugerido emplear la noción probabilística de *tamizado*, que supuestamente permite determinar por qué la causa próxima –en este caso el fenotipo– resulta un mejor explicador que la causa remota –el genotipo. En otras palabras, permitiría determinar el nivel de selección real. Así, afirma que se cumpliría la siguiente relación entre el fenotipo (p), el genotipo (g) y el éxito reproductivo (n) de un organismo: $P(n \mid p \,\&\, g) = P(n \mid p) \neq P(n \mid g)$ (Brandon *et al.*, 1994:479). Si se cumplen estas probabilidades condicionales, entonces el fenotipo de un organismo actuaría como tamiz para su genotipo con respecto al éxito reproductivo, de manera que la unidad de selección es el fenotipo, no los genes o el genotipo. No examinaremos el debate que siguió a esta propuesta (véase Sober, 1992; Brandon *et al.*, 1994; Sober y Wilson, 1994; McClamrock, 1995; van der Steen, 1996), y en cambio nos limitaremos a enunciar nuestra concepción del tema.

Para empezar, debemos preguntar qué interpretación de la probabilidad subyace a la noción de tamizado (recuérdese sección 1.10). Brandon (1990) y Brandon *et al.* (1994) enfatizan que la interpretación involucrada es la propensista, y critican a Sober (1992) por analizar la noción de tamizado en términos de probabilidades subjetivas. Esto implica que la capacidad de producir un cierto número de descendientes no es una disposición causal sino una propensión aleatoria, o que la reproducción real es un proceso aleatorio, o ambas. Ahora, podemos descartar con certeza que la aptitud sea una propensión aleatoria (para esta última recuérdese sección 1.3.1). El proceso de reproducción, en cambio, involucra algunos elementos de azar, aunque no sea completamente aleatorio. Por ejemplo, el que un grano de polen transportado por el viento (anemofilia) termine sobre algún pistilo o en la tierra es parcialmente determinístico y parcialmente aleatorio. Y aunque muchos animales buscan activamente a sus parejas, también hay encuentros casuales, que se suman para su éxito reproductivo total. De cualquier manera, la reproducción no es un proceso puramente aleatorio.

Incluso si la reproducción fuera un proceso puramente aleatorio y tuviésemos un modelo estocástico para él, quedaría el problema de que las probabilidades presuntamente objetivas en la fórmula '$P(n \mid p \,\&\, g) = P(n \mid p) \neq P(n \mid g)$' no se conocen. A pesar de esto, si realmente son objetivas, entonces la fórmula es una hipótesis fáctica. Así, las probabilidades correspondientes deberían ser obtenibles por medios empíricos tales como mediciones, no por decreto. (Nótese que, dada la complejidad del proceso de reproducción, no podemos proponer una estimación razonable *a priori*, como sí podemos, por ejemplo, en el simple evento de un lanzamiento de moneda. Pero aun en este caso, la probabilidad estimada de 0.5

ha de confirmarse empíricamente.) Sin embargo, mientras las probabilidades involucradas no hayan sido medidas, carece de fundamento la afirmación de que se cumplen realmente la fórmula en general o cualquiera de sus casos particulares. Peor aún, las probabilidades parecen ser inobtenibles, porque un organismo siempre tiene tanto un fenotipo como un genotipo, de manera que podría obtenerse, a lo sumo, el valor de $P(n \mid p \,\&\, g)$, pero no los de $P(n \mid p)$ y $P(n \mid g)$.

En cualquier caso, la noción de tamizado parece superflua. Por un lado, la situación fáctica es bien clara: los genes se encuentran contenidos dentro de los biosistemas, y así, usualmente, no interactúan de manera directa con los ítems en el ambiente de los biosistemas. Así, el nivel de sistema o, si se prefiere, el nivel de interactor involucrado en un proceso de selección individual ha de determinarse mediante un análisis del sistema, y no mediante consideraciones probabilísticas. Es más, una frase tal como '*g* es irrelevante para *n*', ya sea verdadera o falsa, resulta suficientemente clara para afirmar qué está en discusión. Por eso, no vemos necesidad de una noción técnica como la de tamizado.

En cambio, la creencia estándar de que el genotipo "causaría" al fenotipo no sólo es altamente elíptica, como observó correctamente van der Steen (1996), sino también falsa; en particular, se apoya en una concepción bastante simplista del desarrollo. Recordando la sección 8.2.3.3, las únicas nociones de genotipo consideradas aquí pueden ser los conceptos de genotipo_H y genotipo_D. Pero éstos son conjuntos, no eventos concretos, y por lo tanto carecen de eficacia causal. De un modo similar, el presunto efecto –el fenotipo_T de un organismo– también es un conjunto, el de sus tipos de rasgos. Aun si se intentase evitar esta objeción refiriéndose a genes y rasgos organísmicos en particular, no se llegaría a una relación causal propiamente dicha, como señalamos en la sección precedente. (Lo mismo vale para cualquiera de los demás conceptos de genotipo y fenotipo analizados en la sección 8.2.3.3.) Por esta razón, no hay necesidad, en primer lugar, de distinguir entre causas remotas y próximas de la selección mediante la noción de tamizado. (Véase también van der Steen, 1996.) Finalmente, las explicaciones del desarrollo y la selección exclusivamente en términos de genes no son más profundas, sino simplemente reduccionistas: recuérdese que requerimos que una explicación satisfactoria sea *sistémica*, no puramente microrreductiva.

9.2.4 *Conclusión*

La selección puede ocurrir en diferentes niveles de los sistemas. Las entidades pertenecientes a estos niveles que se desempeñan (y en consecuencia se reproducen) de manera diferente son las unidades (materiales) de la *p*-selección. Por lo tanto, ya no es materia de controversias el que *existan varios niveles de selección*. Sin embargo, dado los diversos niveles de selección posibles, lo que sí sigue siendo un tema de controversia teórica y práctica es (a) el problema de cómo descubrir y modelizar las unidades y procesos reales en el nivel adecuado, esto es, cómo distinguir entre unidades materiales y conceptuales, y (b) la determinación de la fre-

cuencia de estas posibles unidades de selección, y así su relevancia para la evolución. La evidencia disponible sugiere que la más importante unidad de selección es el organismo (Brandon, 1990).

El hecho de que hay diferentes unidades (materiales) de selección en diferentes niveles de sistemas también se refleja en la estructura de la teoría de la selección. En nuestra terminología (véase sección 3.5.3.2) la teoría de la selección es una teoría *hipergeneral* que se refiere a "interactores" bastante inespecíficos. (Darden y Cain, 1989, la consideran una teoría abstracta, pero no lo es: lo que está en cuestión aquí es el grado de generalidad de una teoría fáctica, no su grado de abstracción.) La interpretación de esta teoría hipergeneral en términos de moléculas, células, organismos o grupos resultará en una familia de teorías *generales* de la selección. Al enriquecer cualquiera de estas teorías generales de la selección, digamos una teoría organísmica de la selección, con supuestos específicos acerca de los organismos en cuestión resulta una teoría específica o modelo$_3$ de una teoría general de la selección natural. Por ejemplo, especificando una teoría general de la selección para *Biston betularia* (la famosa polilla moteada), obtenemos un modelo de selección. Si analizamos ahora los referentes del modelo, encontraremos al menos tres referentes (o clases de referentes): (agregados de) polillas, aves y abedules. Las propiedades relevantes de estos referentes, tales como el color de las alas de las polillas, que es la aptación relevante en este caso, y el color de la corteza de los abedules, que es el correlato del ajuste de las polillas, no son ellas mismas los referentes del modelo porque no son cosas. Así, no pueden considerarse unidades de selección. Lo que sí puede considerarse unidades (materiales) de selección, en este caso, son los referentes de los conceptos de ajuste (diferencial), aptitud (diferencial) y reproducción (diferencial) que ocurren en el modelo, es decir, las polillas. Lo que se "beneficia" en este caso no son sólo las polillas, sino también, necesariamente, todos sus subsistemas, ya se trate de alas o genes, así como ciertos supersistemas, tales como la biopoblación y quizás, incluso, el ecosistema. Señalar cualquiera de los subsistemas involucrados en la producción de la aptación o aptaciones en cuestión es, por supuesto, de relevancia analítica, pero no cambia su estatus como unidades de descripción en vez de unidades del proceso de selección.

9.3 ESTRUCTURA DE LA TEORÍA DE LA EVOLUCIÓN

Después de haber tratado ya principalmente algunos problemas ontológicos de la teoría de la evolución (de aquí en adelante, TE), ahora nos abocamos a algunos de sus problemas semánticos y epistemológicos.

9.3.1 *¿Qué es, si algo es, la "teoría de la evolución"?*

Para empezar, debemos preguntar si existe siquiera *la* teoría de la evolución. Más precisamente, hemos de preguntar si hay una teoría de la evolución unificada, general o quizás hipergeneral. Algunos autores (p. ej., M.B. Williams, 1970, 1973a; Rosenberg, 1985, 1994) creen que la teoría de la selección natural está en el centro de la TE, y es por lo tanto *la* teoría de la evolución. Otros (p. ej., Ruse, 1973) se inclinan más a ver la teoría genética de poblaciones como el meollo de la TE. Como resultará obvio a partir de lo anterior, ninguna de las dos teorías es una TE completa. La teoría genética de poblaciones sólo vale para los organismos eucarióticos. Es decir, no puede dar cuenta de la evolución (esto es, del origen) de los organismos eucarióticos, sino sólo de la evolución posterior dentro de los Eukaryota. Ésta es la razón por la que no puede ser el centro de una teoría general de la evolución de todos los organismos. (Véase también Rosenberg, 1985, 1994.)

Tanto la teoría genética de poblaciones como la teoría de la selección pueden dar cuenta de la distribución y fijación de variantes en una población, esto es, especiación en el sentido de la genética de poblaciones. Pero ellas no implican noción alguna de especiación propiamente dicha, esto es, de emergencia de la novedad cualitativa. Es más, la teoría genética de poblaciones es evidentemente simplista porque se enfoca en las frecuencias de genes y genotipos como si fueran entidades con existencia autónoma. Es incluso reduccionista si se ve no como una mera simplificación de los procesos reales, sino como una explicación suficiente de la evolución. (Más sobre el poder –o impotencia– explicativo de la teoría genética de poblaciones en Horan, 1994.) Aun si agregamos nuestro conocimiento de genética molecular y citogenética, sólo podemos explicar las mutaciones en los niveles de gen y cromosoma. A menos que usemos la totalidad de la biología del desarrollo, seguimos siendo simplistas o reduccionistas (o ambas cosas), esto es, ni siquiera nos estamos refiriendo a entidades vivientes: no estamos haciendo propiamente biología.

La teoría de la selección natural también es insuficiente, ya que se enfoca en la supervivencia y reproducción diferencial de genes, organismos o poblaciones. Ciertamente esto explica la distribución diferencial transgeneracional y el predominio de estas entidades en un hábitat dado, pero da por sentado el concepto de ajuste; en otras palabras, trata al ajuste como caja negra, y así deja de dar cuenta de la esencia misma de la selección: la interacción organismo-ambiente. Esta última sólo puede explicarse con ayuda de la morfología funcional y la ecología, tanto organísmica como poblacional.

Para concluir, sólo las teorías antes mencionadas son necesarias y (es de esperar que) suficientes para una explicación cabal de la evolución biológica. Por lo tanto, la llamada teoría sintética se encuentra muy lejos de constituir una síntesis de todo lo que necesitamos para dar cuenta de la evolución biótica. Es más, ni la teoría sintética ni una combinación de todas las disciplinas y teorías anteriores parecen constituir una sola teoría general unificada. Peor aún, algunas de estas disciplinas, tales como la morfología funcional, la ecología y la biología del desarro-

llo, parecen ser más descriptivas que teóricas, particularmente mecanísmicas. En otras palabras, en el presente no pueden ni siquiera tener una teoría general propiamente dicha, es decir, capaz de explicaciones genuinas. Así, parece que hay varias teorías parciales de la evolución, cada una tratando un aspecto diferente del o de los procesos evolutivos. Sin embargo, no parece haber una teoría (hiper)general de la evolución de todos los organismos. En consecuencia, la teoría de la evolución parece más bien una colección de teorías o, a lo sumo, un sistema de teorías (véase, p. ej., Beckner, 1959; Caplan, 1978; Lewis, 1980; Lloyd, 1988; Thompson, 1989).

9.3.2 *Lo que no es la estructura de la teoría de la evolución*

La falta de una teoría hipergeneral unificada de la evolución, junto con la aparente falta de enunciados legales en biología, ha animado a algunos filósofos, críticos de la llamada interpretación revelada de las teorías, a afirmar que esto es evidencia de la inadecuación de la concepción según la cual las teorías científicas son sistemas hipotético-deductivos que contienen enunciados legales. Así, Beatty (1981, 1987), Thompson (1983, 1987, 1989) y Lloyd (1988) han argumentado que debería ensayarse en biología una concepción alternativa de las teorías, en particular porque creen que esta interpretación alternativa ha tenido éxito en física. Esta alternativa es la llamada *interpretación semántica* de las teorías científicas. Como sólo pocos filósofos de la biología han examinado críticamente esta interpretación p. (ej., Sloep y van der Steen, 1987; Ereshefsky, 1991), daremos a este enfoque un vistazo más de cerca. De hecho, la interpretación "semántica" consta de al menos dos subvisiones, a saber: la concepción estructuralista de las teorías y la concepción "semántica" propiamente dicha. Antes de abordar sus aplicaciones en biología, examinemos estas interpretaciones, considerando su presunto éxito en física.

9.3.2.1 Concepción estructuralista (de Suppe) de las teorías científicas

La concepción estructuralista se remonta a la publicación de 1953 sobre mecánica de partículas, del lógico J.C.C. McKinsey y sus entonces alumnos P. Suppes y A.C. Sugar. Aunque este trabajo sólo fue publicado con la desaprobación de su difusor -la máxima autoridad viviente en física clásica, Clifford Truesdell, que en 1984 demolió de una vez y para siempre este tipo de fundamentación de la física- la versión posterior de Suppes (1957) se sigue citando hasta hoy como un ejercicio exitoso en estructuralismo (p. ej., por Thompson 1989:83). Aunque así estaríamos en realidad azotando un caballo muerto (*de jure*), primero analizaremos las fallas técnicas de la axiomatización de Suppes, y luego los problemas generales de tales concepciones de las teorías científicas.

Consideremos la definición, frecuentemente citada, de un "sistema de mecánica de partículas" como una estructura matemática (sistema) que satisface ciertos

axiomas puramente matemáticos. La formulación de Suppes (1957, p. 294) comienza de esta manera: "DEFINICIÓN 1. Un sistema $\mathscr{P} = \langle P, T, s, m, f, g \rangle$ es un sistema de mecánica de partículas si y sólo si se satisfacen los siguientes siete axiomas" -y aquí sigue una formulación incorrecta e incompleta de los axiomas de Newton. Los primeros tres axiomas vienen bajo el título 'Axiomas cinemáticos', los cuatro siguientes se denominan 'Axiomas dinámicos'. Algunas objeciones a esta definición axiomática son las siguientes.

Primero, la división de los axiomas en cinemáticos y dinámicos resulta, para expresarlo sutilmente, inusual. En verdad, el axioma 1, "El conjunto P es finito y no vacío" es un supuesto puramente matemático: nada afirma sobre el movimiento. Lo mismo vale para los otros dos axiomas "cinemáticos". Ídem para el axioma 4, el primero de los axiomas "dinámicos": "Para p en P, $m(p)$ es un número real positivo". Obviamente, nada dice este axioma sobre dinámica. No es esto un mero juego de palabras: las diferencias entre supuestos matemáticos, cinemáticos y dinámicos, obvias para cualquier físico, resultan de interés filosófico. Una fórmula matemática es un constructo puro desprovisto de relación alguna con el mundo real mientras no se asigne interpretación fáctica a ninguno de los conceptos que aparecen en ella. Una fórmula cinemática *describe* el cambio de algún tipo (p. ej., movimiento), y una dinámica lo *explica* en términos de fuerzas, tensiones, campos o lo que fuere. Todo esto se halla notablemente ausente de la axiomatización de Suppes.

Otro defecto de esta axiomatización es que omite los conceptos clave de marco de referencia y unidad. Sin ellos, las variables básicas -coordenada de posición y fuerza- quedan mal definidas; en consecuencia, también todas las variables derivadas, tales como velocidad y aceleración. Es necesario aclarar que los axiomas no deberían quedar atados a algún marco de referencia o unidad: deben considerarse todos, a fin de permitir su especificación a nivel de teorema. (La manera de hacerlo en el caso de una coordenada de partícula clásica X es estipulando que X es una función del producto cartesiano $P \times F \times T \times U_L$ de las colecciones P de partículas, F de marcos de referencia, T de instantes de tiempo y U_L de unidades de longitud, al conjunto de los tripletes de números reales. En otras palabras, $X(p, f, t, u) = \langle x, y, z \rangle$, donde $p \in P, f \in F, t \in T, u \in U_L$, y $\langle x, y, z \rangle \in \mathbb{R}$. Véase Bunge, 1976, para críticas adicionales, y 1967c para una axiomatización alternativa de la mecánica elemental.)

Por supuesto, las fallas técnicas de un ejemplo en particular no invalidan la empresa entera. Pero bastan para refutar la afirmación de que la axiomatización de Suppes es una aplicación *exitosa* del estructuralismo en la física. Sin embargo, no sólo hay fallas técnicas: la concepción defendida por Suppes y sus seguidores también tiene, desde una perspectiva realista, los siguientes graves defectos metodológicos y filosóficos. El primero es la ambigua expresión 'sistema de mecánica de partículas' que aparece en la definición, ya que puede significar "sistema de partículas" -una cosa concreta, tal como un gas o un cuerpo rígido- o "mecánica de partículas" -una teoría o modelo que trata de partículas individuales, así como de sistemas de partículas.

En lo que concierne a la expresión "sistema de partículas", el realista ha de objetar que el método de la definición axiomática, adoptado por Suppes y sus seguidores, se toma de la matemática pura. Por ejemplo, un reticulado puede definirse así: un reticulado es un conjunto *S* de elementos equipado con dos operaciones binarias en *S*, designadas por $\cap$ y $\cup$, tales que los siguientes axiomas valen para todos los elementos de *S* –y aquí se enumeran los seis axiomas relevantes. Este método de "definición creativa" funciona bien en matemática pura, pero no en ciencia fáctica. La razón es que, a diferencia de los conceptos, las cosas concretas –los referentes de la ciencia fáctica– son indefinibles: sólo pueden ser descritos o caracterizados (recuérdese sección 3.5.7.1). De hecho, toda definición explícita es una identidad, y los dos miembros de la definición sólo pueden ser constructos, como en el caso de "2 = 1 + 1". Es imposible igualar entre dos cosas concretas: si dos objetos tales fueran idénticos, "ellos" serían sólo uno. Ni puede igualarse una cosa concreta con un concepto, porque las cosas sólo tienen propiedades físicas (o biológicas, u otras), mientras que los conceptos sólo tienen atributos (conceptuales.) Por estas razones, no se debe decir que un cuerpo *es* un conjunto, o que un campo *es* una variedad diferenciable, sino que un cuerpo es *representable* por un conjunto, o que un campo es *representable* por una variedad diferenciable. Así, una enmienda al ejemplo de Suppes consistiría en remplazar el enunciado "un sistema $\mathscr{P} = \langle P, T, s, m, f, g \rangle$ es un sistema de mecánica de partículas", por "un sistema $\mathscr{P} = \langle P, T, s, m, f, g \rangle$ *representa* un sistema de mecánica de partículas" (en el sentido de "sistema de partículas".) Sin embargo, esta opción no se encuentra disponible para los estructuralistas porque ellos insisten en *definir* sistemas *abstractos* o *ideales*, sin considerar la correspondencia fáctica.

Sin embargo, aun si esta enmienda fuera posible, no resolvería el defecto principal, que también afecta a la segunda lectura de 'sistema de mecánica de partículas', o sea "(modelo o teoría) de mecánica de partículas". Este defecto es la completa falta, en los axiomas, de alguna interpretación en términos fácticos: ésta aparece, cuando mucho, sólo en las observaciones extrasistemáticas (y aun así es incompleta en el caso de Suppes.) Ahora, cualquier fórmula matemática puede interpretarse de maneras alternativas, o de ninguna. Lo que hace a un conjunto particular de fórmulas matemáticas parte de la mecánica o de la biología es la interpretación de los conceptos en términos fácticos –y tal interpretación falta en la axiomatización estructuralista. Por lo tanto, aquellos estructuralistas que quieren conectarse con la realidad después de todo afirman que sus modelos abstractos tienen una "aplicación prevista", esto es, una posible interpretación en términos empíricos o fácticos. Sin embargo, esta "aplicación prevista" es claramente extrateórica, de manera que las teorías estructuralistas propiamente dichas no tienen contenido (o referencia) fáctico alguno (véase también Sloep y van der Steen, 1987). Sin tal contenido, ni la lectura "sistema de partículas" (o quizá "sistema de partículas ideal") ni el "(modelo de) mecánica de partículas" tiene sentido alguno. (Incidentalmente, la versión del estructuralismo de Giere, 1984, parece exenta de muchas de nuestras objeciones, porque lo que él llama 'modelos teóricos' no son en absoluto sistemas abs-

tractos sino fácticamente interpretados. Aún así, él cree que los modelos teóricos son definiciones.)

En suma, la interpretación estructuralista de las teorías científicas no tiene uso para los realistas científicos. A tal grado que los físicos ignoran las "reconstrucciones" de teorías físicas de Suppes y sus seguidores (véase Truesdell, 1984; para una lúcida deconstrucción del estructuralismo de Stegmüller, véase Weingartner, 1990).

9.3.2.2 La interpretación "semántica"

El núcleo de la interpretación "semántica" de las teorías científicas (véase, p. ej., van Fraassen, 1972, 1980; Suppe, ed., 1974, 1989; Thompson, 1989) es que los modelos usados en ciencia fáctica son modelos en el sentido lógico, o de la teoría de modelos. Sirva de testimonio Suppes (1961:165): "El significado del concepto de modelo es el mismo en matemática y en las ciencias empíricas". Como se recordará de la Sección 3.5, los modelos$_1$ lógicos son interpretaciones, dentro de la matemática, de fórmulas o teorías abstractas. Como las interpretaciones (esto es, la semántica) involucradas en una teoría de modelos son así un asunto intramatemático, esa rama de la lógica resulta irrelevante para las teorías científicas, ya que se supone que éstas se refieren a entidades extramatemáticas y, en consecuencia, deben incluir puentes constructo-hecho, esto es, interpretaciones fácticas. (Recuérdese también de la sección 3.5 que lo que llamamos 'interpretaciones fácticas' nada tiene que ver con las reglas de correspondencia de los empiristas lógicos.)

La propuesta de equiparar los modelos en teoría de modelos con los modelos en ciencias fácticas puede tener, en conjunto, tres fuentes. Una es, por supuesto, la desafortunada ocurrencia de la palabra 'modelo' en ambos casos. (De ahí nuestros subíndices para la palabra 'modelo'.) Una segunda fuente es la decadente teoría verificacionista del significado, la doctrina neopositivista de acuerdo con la cual una oración tiene significado sólo en caso de que sea verificable. (Véase también sección 2.3.) En realidad, van Fraassen (1972, p. 305) afirma que una interpretación de la sintaxis [formalismo matemático] de una teoría "debería incluir específicamente una definición de verdad": se debería estar en condiciones de decidir si la fórmula abstracta dada se satisface con la interpretación dada. Éste es en realidad el caso en la matemática abstracta. Pero en cuanto a las hipótesis y teorías científicas, el significado precede a la contrastabilidad porque no puede verificarse la verdad de una expresión sin sentido. Y sólo los ensayos reales nos permiten adquirir conocimiento sobre el grado de verdad de una hipótesis: creer que una hipótesis es cierta sin verificarla es dogmatismo, no ciencia. Una tercera fuente de confusión es la creencia (van Fraassen, *loc. cit.*) de que "el ideal axiomático insiste en una definición puramente sintáctica [*sic*] de los teoremas". Pero también ésta es falsa. Incluso Hilbert, el archiformalista y campeón de la axiomática, alertaba al comienzo de su monumental tratado (Hilbert y Bernays, 1934:2) que debe distinguirse entre "inhaltlicher und formaler Axiomatik",

y que sólo la segunda hace abstracción de todo el contenido. Por ejemplo, el sistema de postulados de Peano para los números naturales no es formal (abstracto), dado que todos los constructos que ocurren en él se interpretan aun si son indefinidos o primitivos. (Por ejemplo, el primer axioma se lee "0 es un número natural".) Esto vale, *a fortiori*, para todas las teorías en ciencia fáctica y tecnología. Cuando se axiomatizan apropiadamente, cada una de estas teorías se divide en dos partes: un formalismo matemático y un conjunto de supuestos semánticos.

Para concluir, en la concepción "semántica" de las teorías "[...] 'semántica' se usa [...] en el sentido de semántica formal o teoría de modelos en lógica matemática" (Suppes, 1989:4). De esta manera, la semántica de la teoría de modelos consiste en mapear las estructuras matemáticas (también llamadas 'sistemas') en estructuras matemáticas (sistemas.) En contraste, los supuestos semánticos en ciencia fáctica correlacionan estructuras matemáticas definidas con sistemas reales. (Evidentemente, los sistemas reales, aunque descriptibles en términos matemáticos, no son objetos matemáticos.) Por lo tanto, la teoría de modelos no puede encargarse de la semántica de la ciencia fáctica. De hecho, la semántica de la ciencia fáctica arranca allí donde la teoría de modelos abandona. Así, para el científico fáctico y el filósofo de la ciencia realista, la llamada interpretación *semántica* es en realidad una interpretación *no semántica* de las teorías científicas. (De ahí las comillas dobles en el término 'semántica' cuando se refiere a la interpretación semántica, en este libro.) Como los referentes de los modelos científicos son concretos y los de un modelo en matemática pura no, la teoría de modelos y la interpretación no semántica de las teorías científicas no se utilizan en la filosofía de la ciencia y la tecnología.

A veces la interpretación "semántica" de las teorías también se denomina el 'enfoque del espacio de los estados de las teorías científicas', porque algunos autores hacen uso de la noción de un espacio de los estados (p. ej., van Fraassen, 1972; Suppes, 1989). Para evitar la impresión de que el enfoque del espacio de los estados es esencial para la concepción "semántica" de las teorías y, más aún, una alternativa a la concepción de una teoría como sistema hipotético-deductivo, nos apresuramos a señalar que semejante impresión sería errónea. Esto, porque cualquier sistema hipotético-deductivo que contuviera variables de estado, tales como posición y momento, o frecuencia génica y ajuste, involucra un espacio de los estados, ya que éste es justamente el espacio que las variables de estado abarcan. Así, si la teoría contiene n variables, cada una de las cuales representa una propiedad de las cosas del tipo en consideración, entonces el espacio de los estados correspondiente será un espacio cartesiano n-dimensional, cada uno de cuyos ejes será el rango de la correspondiente variable de estado (recuérdese sección 1.4). En suma, los espacios de los estados no son específicos de la concepción "semántica" de las teorías.

Sin embargo, lo que es específico del enfoque de espacio de los estados en la interpretación "semántica" es la idea de que "las leyes no describen la conducta de objetos en el mundo; describen la naturaleza y conducta de un sistema abstracto" (Thompson 1989:72). Así hay, por ejemplo, "leyes de coexistencia", que

"sirven para seleccionar el conjunto físicamente posible de estados en el espacio de los estados", y hay "leyes de sucesión" que "seleccionan las trayectorias físicamente posibles en el espacio de los estados" (*loc. cit.*:81). A primera vista, esto suena muy similar a lo que hemos dicho sobre espacios nomológicos de los estados y eventos en la sección 1.4. Sin embargo, las diferencias son fundamentales. En nuestra concepción, una restricción (es decir, ley_2) sobre el conjunto lógicamente posible de estados de un objeto en un espacio de los estados es una ley_2 sólo si representa una ley_1, esto es, la conducta de un objeto real. En contraste, en la interpretación "semántica" cualquier restricción arbitraria parece funcionar como una ley. Esto no debe sorprender, dado que en la interpretación "semántica" las teorías carecen de contenido fáctico, esto es, no tienen que ver con representar la realidad sino con definir sistemas (matemáticos) abstractos. Las "leyes" así concebidas en realidad no describen el comportamiento de los objetos en el mundo. En otras palabras, en esta interpretación no hay distinción entre regularidades objetivas ($leyes_1$) y $leyes_2$ como representaciones de pautas objetivas del ser y el devenir. Sin embargo, los científicos no buscan ejercicios en matemática abstracta: están centralmente interesados en enunciados ($leyes_2$) que describan la conducta legal de objetos reales. (Más sobre leyes en la interpretación "semántica" en Ereshefsky, 1991.)

Es necesario aclarar que incluso los "semanticistas" nos aseguran que sus modelos abstractos tienen una aplicación o interpretación "implícita" o "prevista". Sin embargo, como no usan la noción de interpretación fáctica de enunciados, producen un curioso truco: dicen que los sistemas altamente abstractos "definidos" por una teoría "se relacionan con los fenómenos a través de una compleja jerarquía de otras teorías" (Thompson, 1989:92; también p. 82.) Sin embargo, si las teorías *son* definiciones de sistemas abstractos, entonces *todas* ellas son abstractas, y así *ninguna* de ellas puede tener relación alguna con los hechos ("fenómenos".) Si son consistentes, también deben concebir como sistemas ideales o abstractos aquellas "teorías de diseño experimental, bondad de ajuste, análisis y estandarización de datos, y así sucesivamente" (p. 82) que se supone tiene la función de un nexo como sistemas abstractos o ideales. La forma en que tal jerarquía de sistemas ideales puede, entonces, relacionarse eventualmente con algo concreto permanece como el misterio semántico de los "semanticistas".

Es más, como la interpretación "semántica" rechaza la concepción de las teorías científicas como conjuntos de enunciados lógicamente relacionados, no tiene utilidad para la noción de verdad fáctica. (El concepto, antes mencionado, de satisfacción en un modelo es una noción de verdad formal.) Por lo tanto, los conceptos de representación y verdad se sustituyen por la noción de isomorfismo. Esto es, en vez de decir que una teoría o un modelo son verdaderos, se dice que el sistema abstracto (a menudo engañosamente denominado 'físico') definido por una teoría científica sería "isomórfico con respecto a un sistema empírico en particular" (Thompson 1989:72); en otras palabras, los dos tendrían "la misma estructura causal" (p. 82). Tenemos dos objeciones a esa idea.

Primero, la atribución de estructura causal a constructos es de manera clara-

una noción metafísicamente mal concebida. Segundo, la relación matemática de isomorfismo es una relación puramente matemática que vale sólo entre conjuntos. Como los modelos (sistemas o estructuras ideales o abstractos) son objetos conceptuales y los sistemas "empíricos" [léase: fácticos] son objetos materiales, la relación de isomorfismo, matemáticamente bien definida, no se aplica. En realidad, en una nota al pie, Lloyd (1988:168) admite que "en la práctica, la relación entre modelo [?] empírico y teórico es en general más débil que el isomorfismo, usualmente un homomorfismo o incluso a veces un tipo de morfismo más débil". Pero ni un homomorfismo ni algún otro morfismo o mapeo intramatemático puede invocarse para volver más precisa la vaga idea de que un modelo de alguna manera "refleja" a su referente o referentes fácticos. Por lo tanto, debemos sospechar que el uso metafórico de términos tales como 'isomorfismo' podría ser un residuo de la (errónea) *teoría reflexionista del conocimiento* sostenida por los materialistas dialécticos (Lenin, 1908), el joven Wittgenstein (1922), y algunos filósofos contemporáneos (van Fraassen, 1980.) Sin embargo, aunque los modelos y teorías puedan *representar* a sus referentes con alguna aproximación, tales representaciones no son cuadros ni copias. Esto porque muchas teorías científicas contienen constructos sin contraparte real, que sirven a lo sumo como dispositivos computacionales; y cada fragmento de realidad termina mostrando rasgos que no se habían previsto en ninguna otra teoría. Por lo tanto, en el mejor de los casos puede haber una correspondencia global entre teoría y hechos, y no punto por punto, como lo presupone la tesis del isomorfismo. De hecho, las teorías y modelos son *construcciones simbólicas* que no guardan semejanza alguna con los objetos que representan (véase postulado 3.5).

Para los fines de la discusión se asume que tendría sentido usar la noción de isomorfismo, es decir, que uno podría decir que los modelos (o sistemas abstractos) son isomórficos en relación con sistemas concretos si tienen la misma estructura, y entonces enfrentaríamos otro grave problema. Éste es el hecho de que, al comparar estructuras, en el mejor de los casos se puede *describir* sistemas concretos, pero *no explicarlos*. Peor aún, es imposible hacer predicciones a partir de una estructura matemática. Las explicaciones y predicciones son argumentos lógicos, esto es, presuponen enunciados a partir de los cuales se puede deducir nuevos enunciados, y de esta manera explicar o predecir los referentes de las proposiciones. No está claro cómo esto podría ser posible en una interpretación de las teorías no enunciativa. En resumen, ni la subsunción, ni la explicación, ni la predicción son posibles si las teorías no son sistemas hipotético-deductivos. Los científicos no deberían estar preparados para pagar un precio tan elevado por las elucubraciones de algunos filósofos.

9.3.2.3 Las interpretaciones "semánticas" de las teorías en la biología (incluido el estructuralismo)

Aparentemente sin advertir el fracaso de las interpretaciones no enunciativas en física, Beatty (1981, 1987), Lloyd (1988) y Thompson (1983, 1987, 1989) han

defendido la aplicación de la interpretación "semántica" a las teorías biológicas. Como Thompson (1989) ha producido el caso más extenso en favor de la interpretación "semántica" en biología, nos centraremos en su desarrollo. Siguiendo el enfoque de Beatty (1981) de la genética de poblaciones en términos de teoría de conjuntos, Thompson, análogamente a la definición axiomática de Suppes de un sistema de mecánica de partículas, propone una definición axiomática de un "sistema reproductivo mendeliano" (Thompson, 1989:88), que se lee como sigue:

T: Un sistema $\beta = \langle P, A, f, g\rangle$ es un sistema reproductivo mendeliano si y sólo si se satisfacen los siguientes axiomas:

Axioma 1. Los conjuntos P y A son finitos y no vacíos.

Axioma 2. Para cualquier $a \in P$ y $l, m \in A$, $f(a, l)$ & $f(a, m)$ si $l = m$.

Axioma 3. Para cualesquiera $a, b \in P$ y $l \in A$, $g(a, l)$ & $g(b, l)$ si $a = b$.

Axioma 4. Para cualesquiera $a, b \in P$ y $l \in L$ tales que $f(a, l)$ y $f(b, l)$, $g(a, l)$ es independiente de $g(b, l)$.

Axioma 5. Para cualesquiera $a, b \in P$ y $l, m \in L$ tales que $f(a, l)$ y $f(b, m)$, $g(a, l)$ es independiente de $g(b, m)$.

Todos los defectos que plagaban la "reconstrucción" de la mecánica de partículas de Suppes reaparecen en la "reconstrucción" de la genética mendeliana de Beatty-Thompson. Primero, tal como la expresión antes criticada de Suppes 'sistema de mecánica de partículas', la expresión 'sistema reproductivo mendeliano' en esta definición axiomática, es igualmente ambigua. Puede significar una comunidad reproductiva, un sistema concreto o un modelo teórico, es decir un sistema ideal, que representa un sistema concreto. Ahora bien, $\langle P, A, f, g\rangle$, si algo es, es un sistema *matemático*, por lo tanto un objeto conceptual, que no puede identificarse con uno material. De esta manera, la única interpretación que tiene sentido (en un marco científico normal) es que $\langle P, A, f, g\rangle$ *representa*, es decir: una idealización, o un modelo de, un sistema reproductivo mendeliano. Pero en tal caso nos enfrentamos al problema de que esta definición axiomática no contiene referencia fáctica alguna: es un puro formalismo que no representa nada. Peor aún, incluso si dotásemos a los axiomas con una interpretación fáctica ya no se podría decir que esta interpretación "definiría" los sistemas a los cuales se aplica el formalismo, porque sólo pueden definirse signos y conceptos, no cosas. Éstas sólo pueden ser descritas por los enunciados de una teoría.

Aparte de tales problemas generales, también hay varios problemas lógicos y matemáticos con este modelo en particular.* Antes que nada, un formalismo matemático debe tener sentido (matemático) en sí mismo, es decir, sin recurrir a explicaciones extrateóricas. Éste no es el caso aquí. Por ejemplo, los últimos cuatro axiomas no tienen sentido matemático porque los símbolos clave f y g que aparecen en ellos no se definen. Es más, como la fórmula $f(a, l)$ y sus semejantes no corresponden a ninguna notación convencional, podrían tener cualquier significado.

* Debemos varios de los siguientes argumentos a Michael Kary.

Si, de cualquier manera, mostramos alguna buena voluntad para extraer sentido matemático de los axiomas, podríamos tratar de leer la fórmula *f*(*a*, *l*) y sus semejantes como notación relacional. Entonces, una notación más convencional para '*f*(*a*, *l*)' sería '*Ral*' o '*aRl*'. De manera correspondiente, podríamos reescribir (la parte relevante de) el axioma 2, en la forma "*Ral* & *Ram* si *l* = *m*". Entonces este axioma nos diría que la relación *R*, o para el caso *f*, es una función de *P* en *A*. Sin embargo, si fuera éste el significado matemático de este axioma, nos preguntamos por qué querría uno usar notación relacional para designar una función. En cambio, el axioma 3 (reescrito como "*Ral* & *Rbl* si *a* = *b*") no definiría la relación *g* como una función: sólo nos dice que *g no* es una relación varios-a-uno. En otras palabras, podría ser una relación uno-a-varios o uno-a-uno.

Mostrando aún mejor voluntad, eventualmente tratamos de extraer sentido del formalismo tomando en cuenta las observaciones extrateóricas de Thompson. Se proporcionan inmediatamente después del formalismo antes citado y se leen así:

Donde *P* y *A* son conjuntos y *f* y *g* son funciones. *P* es el conjunto de todos los alelos en las poblaciones [sic], *A* es el conjunto de todos los loci en la población. Si $a \in P$ y $l \in A$, entonces *f*(*a*, *l*) es una asignación, en una fase diploide de la célula, de *a* a *l* (esto es, *f* es una función que asigna a *a* como alelo alternativo en el locus *l*). Si $a \in P$ y $l \in A$, entonces *g*(*a*, *l*) es el gameto formado, por meiosis, con *a* en *l* en el gameto (fase haploide de la célula.) (p. 88).

Estas observaciones ayudan a aclarar algo el tema, pero no salvan al formalismo de que esté mal formado. (Suponemos que la letra *L* en vez de *A* en los últimos dos axiomas es un error de imprenta.) Primero, si se necesitara el axioma 2 para definir la relación *f* como una función, entonces ¿para qué declarar dos veces, en las observaciones extrateóricas, que es una función? Sería obvio que *f* es una función, si Thompson hubiera elegido la notación funcional común (y correcta) '*f*(*a*) = *l*'. Entonces, sin embargo, el axioma sería superfluo por definir a *f* como una función. Segundo, si el axioma 2 fuera necesario para definir la relación *f* como una función, entonces ¿por qué no hay un axioma que defina también como función a *g*? (Recuérdese que al axioma 3 sólo afirma que *g no* es una relación muchos-a-uno.) Sin embargo, si *g* fuera en realidad una función, aunque en ninguna parte se la define como tal, entonces el axioma 3 dice que *g* es una función inyectiva (es decir, uno-a-uno.) Pero si éste fuera el significado (matemático) del axioma 3, resultaría suficiente escribir "Si $g(a) = l$ & $g(b) = l$, entonces $a = b$". La recíproca, es decir, "Si $a = b$, entonces $g(a) = l$ & $g(b) = l$" como lo indica la equivalencia "si" en el axioma, no se requeriría.

Peor aún, si tomamos en cuenta las observaciones extrateóricas e interpretamos las fórmulas en términos de alelos, loci y gametos, la equivalencia "si" en el axioma 3 dice que, en los gametos, *todo* alelo se asigna al locus *l*. Más precisamente, designe *a* un alelo arbitrario en el conjunto *P*, y *l* un locus arbitrario en el conjunto *A*. Ahora definamos *b* como sigue: $b =_{df} a$. Entonces, como $a = b$, por este axioma, $g(a) = l$. Ahora, designe *c* algún otro alelo arbitrario en *P*, diferente de *a*. Defínase *d* co-

mo sigue: $d =_{df} c$. Por lo tanto, también $g(c) = l$. Pero como $g(a) = l$ y $g(c) = l$, entonces $a = c$, que contradice la suposición original de que eran diferentes.

Un argumento similar puede plantearse para el axioma 2. Designe *a* un alelo arbitrario en *P*, y designe *l* un locus arbitrario en el conjunto *A*. Defínase *m* como sigue: $m =_{df} l$. Por lo tanto, por este axioma, $f(a) = l$. Ahora, designe *n* algún otro locus, diferente de *l*. Defínase *p* como sigue: $p =_{df} n$. Por lo tanto, $f(a) = n$. Y por supuesto, como $f(a) = l$ y $f(a) = n$, entonces $l = n$, contradiciendo el supuesto original de que eran diferentes. Por lo tanto, todos los alelos, ya sea en células normales o en gametas, son asignados sólo a un locus único *l*.

Otro problema con la definición axiomática y las observaciones extrateóricas es que no resulta claro si lo que está en cuestión son unos alelos y loci en particular, o *tipos* de alelos y *tipos* de loci: las observaciones extrateóricas sólo hablan de alelos y loci en poblaciones. Por lo tanto, nada hay en este formalismo que prohíba asignar el alelo individual *a* en la célula *c* del organismo *m* en la población *p* al locus individual *l* en la célula *d* del organismo *n* en la población *p*.

Es más, si *f* y *g* en efecto designan funciones, entonces las fórmulas "$f(a, l)$ & $f(a, m)$" y "$g(a, l)$ & $g(b, l)$" no se encuentran bien formadas, porque el concepto "&" es una relación lógica entre proposiciones, y no hay indicación alguna de que los valores de estas funciones sean tales. Esto vale en particular para *g*, donde una cosa concreta –un gameto– es identificada con un símbolo. Esto es, si los símbolos '$g(a, l)$' y '$g(b, l)$' *son* gametos, no son verdaderos ni falsos, y no designan proposiciones, como lo requiere la presencia de '&' en los axiomas. Incluso si pudiéramos decir que *g representa* un gameto, debemos preguntarnos si una cosa concreta debería representarse mediante una función en vez de, comúnmente, como un elemento de un conjunto –en particular porque los alelos y loci, aunque objetos, no están "representados" por funciones, sino por elementos de los conjuntos *P* y *A*. (Usualmente, las *propiedades* de los objetos se representan mediante funciones que asignan al objeto algún número denominado. Por ejemplo, la temperatura corporal puede representarse mediante la función T(cuerpo humano, escala centígrada) = 37; recuérdese sección 1.3.3). Según parece, en el estructuralismo las gametas son tratadas como propiedades incorpóreas o, más precisamente, como relaciones alelo-locus.

Finalmente, dirijámonos a los axiomas 4 y 5, en los que la palabra 'independencia' queda sin definir. Se requiere su definición porque 'independencia' designa diferentes conceptos en diferentes contextos. Por ejemplo, como el formalismo no se interpreta, podríamos leerlo como alguna noción lógica o matemática de independencia. Así, las dos funciones *f* y *g* aparecen en una conjunción lógica en los axiomas 2 y 3, que sólo tienen sentido si las funciones representan proposiciones del tipo "*a* se relaciona con *l*", no cosas concretas tales como gametos. Pero entonces los valores de verdad de las dos proposiciones *no* son independientes, esto es, ambas deben ser verdaderas si se supone que la conjunción es verdadera. También podríamos leer 'independiente' en términos de independencia funcional: dos funciones son independientes si no comparten las mismas variables. Sin embargo, tanto el axioma 4 como el axioma 5 sólo afirman que los valores de la función *g* son

independientes. En suma, en los dos últimos axiomas la palabra 'independiente' carece de significado en lo que concierne a la definición misma.

Sólo retomando las observaciones extrateóricas podemos decir que se intenta una aplicación fáctica, y que tal aplicación no se refiere, digamos, a la independencia política sino a la noción del ordenamiento independiente de los alelos durante la gametogénesis, esto es, la segunda ley de Mendel. Sin embargo, si se desea definir este concepto en particular, no puede importarlo desde fuera de la teoría para que la fórmula tenga sentido: debe definírsele, implícita o explícitamente, dentro de la teoría. Después de todo, como se dijo al principio, un formalismo matemático ha de tener sentido (matemático) en sí mismo.

Para concluir, este "ejemplo, tal como está, ilustra adecuadamente la naturaleza de un enfoque en términos de la teoría de conjuntos" (Thompson, 1989:88). En verdad, lo hace. Sin embargo, todavía tenemos un pleito ontológico con la apelación de Thompson en favor de la interpretación "semántica" en biología. Esta crítica se refiere a igualar constructos, tales como funciones matemáticas, a cosas concretas, tales como gametas. Esta confusión no es accidental: pertenece a la misma esencia de la interpretación formalista de las teorías, en la cual la dicotomía constructo-hecho se vuelve confusa. Testimonio de esto, es una multitud de enunciados metafísicamente mal formados en el trabajo de Thompson. Enlistemos algunos de ellos.

Primero, al ser constructos, ni los espacios de los estados (Thompson, 1989:12) ni las teorías pueden en manera alguna "interactuar entre sí" (pp. 52, 96). Segundo, hay un error de categoría en la afirmación de Thompson de que un "modelo empírico se entiende como lógicamente equivalente al sistema fenoménico al que se aplica la teoría" (p. 72). En realidad, ni los hechos fenoménicos ni los transfenoménicos tienen propiedad lógica alguna. Tercero, es imposible que la "teoría de la evolución [esté] relacionada con la conducta humana mediante de una cadena causal de marcos teóricos" (p. 111), y simplemente no hay una "secuencia causal de teorías" (p. 17). Ningún constructo puede en modo alguno relacionarse causalmente con cosas concretas y sus cambios. Similarmente, la afirmación de que, de acuerdo con la interpretación aceptada "las teorías están relacionadas deductivamente con los fenómenos..." (Thompson, 1987:29) no tiene sentido para nosotros porque de los enunciados de una teoría sólo puede deducirse, si acaso, nuevos enunciados (sobre hechos y fenómenos.) Es más, los enunciados legales no "definen" cosas (Thompson, 1989:63), sino que, en el mejor de los casos, las describen. Lo mismo vale para las teorías: la teoría genética de poblaciones no define "los sistemas a los que se aplica" (p. 91), sólo porque no hay nada en la interpretación "semántica" que pueda relacionar un formalismo abstracto con el mundo real. Ni siquiera las reglas de correspondencia en la concepción neopositivista de las teorías "definen un modelo empírico del sistema formal" (p. 72): ni una interpretación ni una operacionalización de la teoría tienen algo que ver con una definición, y los sistemas concretos no son modelos de nada.

Esto es todo lo que puede decirse del "éxito", filosófico y técnico, de la interpretación "semántica" de las teorías científicas de la física a la biología.

9.3.2.4 Conclusión

No hay nada erróneo en representar, esto es, describir, la estructura de los sistemas concretos por medio de estructuras matemáticas. Sin embargo, a fin de hacerlo, una estructura matemática debe referirse *explícitamente* a un sistema concreto; esto es, deben ser interpretadas fácticamente. Aun así, hay mucho más que estructura en los sistemas materiales: todo sistema material tiene también una composición y un ambiente (excepto el universo como totalidad), e incluso una historia. Todas estas características, en particular los estados y cambios de estado del sistema en cuestión, pueden tomarse en cuenta en un modelo de espacio de los estados. Sin embargo, no puede decirse que un (modelo de) espacio de los estados sea en modo alguno isomórfico respecto de algún sistema concreto, ya que la dimensionalidad de este último es la dimensionalidad óntica de la espaciotemporalidad, mientras que la *n*-dimensionalidad de un espacio de los estados es la dimensionalidad, puramente conceptual, de un espacio matemático.

Tampoco hay nada malo con la idealización. Como vimos en la sección 3.5, los modelos teóricos involucran supuestos específicos o bocetos del objeto, de manera que los modelos$_3$ son representaciones *simplificadas* e *idealizadas* de sus referentes reales. Aun así, los científicos no se interesan en los sistemas ideales *per se*: se supone que incluso una idealización enfoca y se aproxima al menos a un aspecto de un sistema real, o ayuda a entender los sistemas reales mostrando en qué aspecto éstos se desvían del caso ideal. (Piénsese en las poblaciones ideales.)

En suma, no vemos razón para abandonar la concepción de las teorías científicas como sistemas hipotético-deductivos y adoptar en lugar de ella la interpretación "semántica" (o no enunciativa) de las teorías. Después de todo, nada hay en las estructuras matemáticas y espacios de los estados que no pueda expresarse mediante proposiciones. Es más, todas las virtudes (incorrectamente) atribuidas a la interpretación "semántica" pueden atribuirse (correctamente) a una concepción realista de la estructura de las teorías, que evita los problemas que plagaban la versión neopositivista. Adicionalmente, nos ahorramos herramientas inútiles en ciencia fáctica (no en matemática), tales como la teoría de modelos, y podemos –lo que es mucho más importante– evitar cualquier contaminación con ciertas posiciones filosóficas asociadas a menudo con la interpretación "semántica", tales como el fenomenalismo, el empirismo, el instrumentalismo y el antirrealismo. (Notables excepciones parecen ser Giere, 1984, 1985, y Suppe, 1989, cuyas versiones son manifiestamente realistas.)

El cuadro 9. 1 resume y compara las interpretaciones realista, neopositivista y "semántica" de la estructura de las teorías.

9.3.3 *La auténtica estructura de la teoría de la evolución*

Como en nuestra concepción todas las teorías son sistemas hipotético-deductivos, todas las teorías tienen la misma estructura general: se trata de un contexto ce-

CUADRO 9.1
INTERPRETACIONES REALISTA, NEOPOSITIVISTA Y "SEMÁNTICA" DE LA ESTRUCTURA DE LAS TEORÍAS

	Realismo	*Neopositivismo*	*Interpretación "semántica"*
Una teoría es	Un sistema hipotético-deductivo	Un sistema hipotético-deductivo	Una definición (estructuralismo) o un conjunto de modelos (interpretación "semántica")
Presuposiciones formales	Lógica de predicados y todas las ramas de la matemática que se requieran	Ídem	Ídem más teoría de modelos
Estatus de los axiomas	Distantes de los datos (consisten usualmente de conceptos transempíricos)	Generalizaciones empíricas	Abstractos
Contenido empírico	No	Sí (vía reglas de correspondencia)	No
Referencia fáctica	Sí (conferida por supuestos semánticos)	No (referencia sólo a observables. Es decir, fenómenos)	No (la "aplicación" a los hechos puede ser "prevista", pero en ese caso es externa a la teoría)
Indicadores	Externos a la teoría y agregados a ella como preparación para la verificación	Incluidos en las reglas de correspondencia	Ausentes
Contrastabilidad empírica	Sólo mediante enriquecimiento con hipótesis indicadoras y datos	Directa (por el contenido empírico)	No

rrado bajo la deducción. Más precisamente, una teoría puede caracterizarse como un cuádruplo $T = \langle P, Q, R, \Rightarrow \rangle$, donde *P* designa un conjunto de proposiciones, *Q* el conjunto de todos los predicados que aparecen en *P*, *R* el conjunto de los referentes en *Q* (esto es, su clase de referencia o dominio), y $\Rightarrow$ designa la relación de implicación, que une a los miembros de *P* en un sistema. Aquí, *P*, *Q* y *R* designan la composición de la teoría, mientras que la estructura interna propiamente dicha está dada por la relación de implicación (o alternativamente, por la relación de consecuencia.)

Dada esta estructura general de las teorías, lo que nos interesa cuando hablamos de *la estructura* de TE es exhibir verdaderamente la composición *y* la estructura de TE. Esto es, si conocemos las proposiciones, la clase de referencia y los predicados de la teoría, la estructura de dicha teoría queda dada por las conexiones lógicas entre las proposiciones de *P*. En otras palabras, podemos exhibir la estructura propiamente dicha de una teoría sólo determinando cuáles son los postulados y las consecuencias lógicas. Esto equivale a la axiomatización de la teoría en cuestión.

Sin embargo, las axiomatizaciones de teorías biológicas son muy raras. Además de los primeros intentos de Woodger (1952), la axiomatización más famosa en biología hasta hoy es la de la teoría de la selección de Mary Williams (1970) que, aunque criticada a menudo (p. ej., por Ruse, 1973; Jongeling, 1985), ha sido suscrita por Rosenberg (1985, 1994.) Van Valen (1976b) y Kitcher (1989b) han propuesto una axiomatización menos rigurosa de las partes de la teoría de la evolución, y los enunciados centrales de la genética de Eukaryotes han sido axiomatizados por Rizzotti y Zanardo (1986) y formalizados por Zanardo y Rizzotti (1986). Finalmente, Lewis (1980) ha compilado (no axiomatizado) varios enunciados centrales de las teorías biológicas y Vollmer (1987b) ha enlistado varios principios de la teoría de la evolución.

Dada la situación de la axiomatización de teorías en biología, la mayor parte de lo que pasa por análisis de la estructura de TE debe considerarse estudios preliminares de ciertos componentes de TE, en particular su clase de referencia. Esto no es decir que tales estudios sean en manera alguna inútiles, sino señalar que aún se encuentran lejos de exhibir realmente la estructura de TE. Por ejemplo, se ha puesto de moda decir que TE, o para el caso la teoría de la selección, tiene una "estructura jerárquica". Obviamente, esta afirmación no se refiere a la estructura de TE en el sentido de que se constituye por las conexiones lógicas entre sus enunciados y quizá sus subteorías. Lo que puede significar es que la teoría no se refiere a entidades en un solo nivel sino a entidades pertenecientes a diferentes bioniveles. Sin embargo, el hecho de que, digamos, la selección puede ocurrir entre entidades pertenecientes a diferentes niveles de organización, no vuelve jerárquica a la *teoría* de la selección.

En contraste, una concepción "jerárquica" de TE en un sentido diferente fue sugerida por Tuomi (1981), quien distingue la teoría genérica de la evolución, o "metateoría" de las teorías y modelos teóricos específicos. Llama a éste un 'modelo multinivel' de TE, que constaría de diferentes "niveles de abstracción". (

de manera similar, Darden y Cain, 1989.) Sin embargo, a lo que se refiere en realidad no es a niveles de abstracción, sino a grados de generalidad (véase sección 3.5.3). Aunque la opinión de Tuomi es similar a la nuestra, en la sección 9.3.1 hemos afirmado que no creemos que haya una teoría (hiper)general unificada de la evolución. Sin embargo, hay teorías en biología evolutiva que son generales (posiblemente hipergenerales), y de esta manera presentan diferentes grados de generalidad.

Como se elucidó en la sección 9.2.4, el ejemplo más conspicuo de una teoría hipergeneral en biología evolutiva es la teoría de selección natural. Si la clase de referencia de esta teoría hipergeneral de la selección se reduce de la colección de todos los interactores a la de todos los organismos, obtenemos la teoría general de la selección organísmica *T*. Esta teoría general de la selección *T* arroja (potencialmente) millones de teorías o modelos teóricos especiales (modelos$_3$) M_i de la selección natural, uno para cada taxón y todo rasgo principal, Reciente, extinto o futuro. Más precisamente, la relación entre la teoría general *T* y los varios modelos M_i es como sigue. Todo M_i puede, al menos en principio, obtenerse enriqueciendo *T* con un conjunto S_i de supuestos subsidiarios acerca de los rasgos específicos de la especie o taxón superior correspondiente. Esto es,

$$M_i = Cn(T \cup S_i), \text{ con } 1 \leq i \leq n.$$

Así, la teoría de selección natural *T* puede considerarse la familia de todos sus modelos teóricos, o la unión de éstos. Esto es,

$$T = \{ M_i \mid 1 \leq i \leq n \}, \text{ o } T = \bigcup_{i=1}^{n} M_i$$

Sin embargo, debido a la falta de una teoría de la selección axiomática generalmente aceptada, resulta difícil decir en la práctica si algún modelo de selección propuesto es un modelo ligado, es decir, una especificación de la teoría general de selección, o sólo un modelo libre (recuérdese las nociones de modelo ligado y libre de la sección 3.5). De cualquier manera, si deseamos sistematizar nuestro conocimiento, debemos intentar transformar una colección de modelos libres en una familia de modelos ligados, construyendo una teoría general.

Lo que se ha dicho acerca de la teoría general de selección, también puede decirse sobre la teoría genética de poblaciones. Aunque se refiere sólo a organismos eucarióticos, la teoría genética de poblaciones es aún una teoría general con (potencialmente) millones de modelos ligados, uno para cada especie y cada genotipo, Recientes, extintos o futuros.

En suma, aun cuando parece no haber una teoría (hiper)general de la evolución en todos los organismos, hay por lo menos dos teorías disponibles: la de selección natural y la teoría genética de poblaciones. Sostenemos que esta generalidad y capacidad de producir modelos ligados es una de las razones de que estas dos teorías sean tan predominantes en biología evolutiva.

Sin embargo, para la teoría evolutiva debería haber más que estas dos teorías:

no sólo necesitamos una teoría sobre la distribución transgeneracional de los genotipos, sino también una teoría sobre la generación de nuevos fenotipos$_O$, es decir, una teoría de la especiación organísmica. Por ejemplo, necesitamos una *teoría* de la mutación y una *teoría* del desarrollo. Nótese que por 'teoría' entendemos una teoría de los mecanismos generales de tales procesos, no una simple descripción de ellos. Es importante subrayar este punto, porque demasiado a menudo la mera descripción pasa por teoría. Por ejemplo, aunque contamos con elaboradas descripciones de los diversos pasos involucrados en la síntesis de proteínas, no tenemos una *teoría* de la síntesis de proteínas. (Y sostenemos que, mientras aceptemos redescripciones de procesos bioquímicos formuladas en una jerga informacionista huera, no habrá progreso en la materia.) En suma, todas estas teorías son necesarias para una explicación completa de la evolución biótica. Sin embargo, aun si tuviésemos estas teorías a nuestra disposición, tal colección de teorías no equivaldría automáticamente a una teoría (hiper)general unificada de la evolución de los organismos. Por eso, ¿cuál es la estructura, si hay alguna, de la colección de teorías usualmente denominadas 'teoría de la evolución'?

El primero en tratar esta cuestión fue aparentemente Beckner (1959), quien sostuvo que la teoría de la evolución es una "familia de modelos relacionados" (p. 160.) Esta idea, que había sido formulada de un modo bastante casual por Beckner mismo, fue desarrollada por Caplan (1978), quien llamó a su versión la 'concepción de los conjuntos ordenados' de la estructura de la teoría. Lewis (1980) consideró a la teoría de la evolución como un "sistema de teorías", y Wassermann (1981:419), una "hiperteoría que comprende un conjunto de teorías subordinadas". Finalmente, también inspirados por Beckner, Lloyd (1988) y Thompson (1989) alegaron durante mucho tiempo –aunque, como se mostró antes, sobre la base de una concepción errada de la estructura de la teoría– que TE es una familia de modelos interrelacionados. Los teorías interrelacionadas en estas interpretaciones se encuentran básicamente todas en el mismo nivel. Esto es, no hay una familia de modelos ligados sino una colección de modelos libres, o una colección de teorías capaces de generar modelos ligados. Así, se ajustan a lo que Tuomi (1981, 1992) denominó el 'modelo reticular' de TE. En realidad, las teorías parecen estar relacionadas referencial y evidencialmente, esto es, forman un sistema de consiliencias (Whewell, 1847; Ruse, 1988). Es más, son mutuamente consistentes y así restringen la construcción de teorías y modelos en las varias disciplinas involucradas (Caplan, 1978). En otras palabras, suministran un cuadro unificado de la evolución, pero no constituyen una teoría general unificada de la evolución.

Hasta ahora, entonces, la teoría de la evolución no es una teoría propiamente dicha, sino un *sistema de teorías*. Aunque en otros aspectos concordamos ampliamente con Caplan (1978), preferimos la expresión de Lewis 'sistema de teorías', en vez de la de Caplan, 'conjunto ordenado', porque un conjunto ordenado es un concepto en teoría de conjuntos que nada tiene que ver con la sistemicidad planteada aquí. Y como un sistema de teorías no es necesariamente una teoría en sí misma, es decir, un sistema hipotético-deductivo, el término de Wassermann 'hiperteoría' también resulta inadecuado. Otra consecuencia de considerar a la "teoría" evolu-

tiva un sistema de teorías en vez de una teoría propiamente dicha es que sus teorías componentes no son subteorías: una subteoría queda incluida en la teoría principal (véase sección 3.5). Sin embargo, el sistema de teorías TE carece de la unidad lógica de una teoría propiamente dicha, de manera que sus teorías componentes no se siguen (ni pueden seguirse) de algún otro componente.

Aunque nuestras conclusiones acerca de la estructura de TE resultan a primera vista similares a las de los "semanticistas" (véase también Tuomi, 1992), nuevamente hacemos hincapié en que esto es posible sin presuponer ninguna de las ideas filosóficas subyacentes de la interpretación "semántica".

9.3.4 *¿Unificación mediante un discurso en términos de entropía e información?*

Hasta aquí hemos sostenido que la teoría de la selección natural junto con la teoría genética de poblaciones no constituyen una teoría completa de la evolución. Es más, hemos argüido que no hay una teoría general unificada de la evolución: a lo sumo, un sistema de teorías que en conjunto pueden dar cuenta de los procesos biológicos que subsumimos bajo el término 'evolución'. Mientras que algunos –con quienes concordamos– esperan que las principales contribuciones a la explicación de los problemas de la evolución vengan de la biología del desarrollo, otros confían en el poder unificador de la termodinámica, la mecánica estadística o la teoría de la información (p. ej., Prigogine, 1973; Brooks y Wiley, 1988; Brooks *et al.*, 1989). Sostenemos que este último enfoque es esencialmente estéril. Las razones para este duro juicio son las siguientes.

Precisamente porque la termodinámica y la mecánica estadística de sistemas abiertos se aplican a todos ellos, resultan demasiado generales para decir algo interesante en biología. En verdad, esas teorías se aplican no sólo a los organismos, sino también a los reactores químicos y a sistemas físicos, tales como las soluciones. (En particular, todos los procesos irreversibles –como el nacimiento, el desarrollo, la muerte, o la combustión, la transferencia de calor y la difusión– son entrópicos. Esto es, van acompañados de un aumento en la entropía, si no en el sistema de interés, al menos en su entorno.) La termodinámica sólo describe y restringe los procesos biológicos *posibles*: nos dice cuáles procesos son físicamente posibles y cuáles no. Y al ser una teoría hipergeneral de caja negra, esto es, no comprometida con ningún mecanismo, resulta aún de menos ayuda que la mecánica o la electrodinámica. En suma, la física –en particular la termodinámica– "permite" la vida, pero no da esperanzas de explicarla en términos puramente físicos. Por lo tanto, todo discurso general sobre termodinámica y biología (p. ej., Brooks *et al.*, 1989) resulta irrelevante, a diferencia de los cálculos termodinámicos detallados de reacciones bioquímicas en particular. (Más críticas en Berry, 1995.)

Éste es sólo un ejemplo del antiguo principio metodológico *dictum de omni, dictum de nullo*: lo que vale para todo, no dice nada en particular. En otras palabras, una teoría extremadamente general sólo puede cubrir los rasgos comunes a todos los miembros de su clase de referencia, y por lo tanto perderá de vista toda

peculiaridad. (En jerga semitécnica semántica: el sentido o contenido es inversamente proporcional a la extensión o dominio de la verdad.)

La teoría estadística de la información resulta para la biología incluso de menos ayuda que la termodinámica, y esto por dos razones. Primero, porque no contiene variables biológicamente relevantes, tales como energía y temperatura. Segundo, porque –a diferencia de la termodinámica– no contiene $leyes_2$ sobre la naturaleza, por lo que ni siquiera puede ayudar a decidir si un proceso dado conceptualmente posible es físicamente posible. En todo caso, la "información" involucrada en genética no es sino estructura molecular, una propiedad que, a diferencia de la información que "fluye" en un sistema de comunicaciones, es conceptualizada en términos no probabilísticos. En consecuencia, todo lo que se hable de código genético y transmisión de información genética es metafórico (recuérdese sección 8.2.3.1) .

En suma, la unificación a la que se apunta con ayuda de las teorías hipergenerales y de andamiaje apunta demasiado lejos: los biólogos no pueden estar interesados en teorías tan generales que son aplicables a todos los sistemas concretos. Los biólogos sólo pueden estar interesados en una teoría general que unifique a la biología, no a todas las ciencias fácticas. Si cualesquiera de tales teorías se encuentran disponibles, no se cuentan entre ellas la teoría de la información ni la termodinámica, ni la mecánica estadística, por ser demasiado generales.

Algunos enfoques no sólo son demasiado generales, sino también funcionalistas y formalistas. Esto es, asumen que pueden ignorar la materia de los procesos evolutivos y enfocarse en su carácter formal, abstracto o lógico, si hubiere tales. Demos un vistazo a un espécimen de tal enfoque.

9.3.5 *¿Es la evolución un algoritmo?*

Daniel Dennett (1995) ha esgrimido recientemente la idea de que la evolución es un algoritmo. Ésta ya se encontró con la aprobación de algunos biólogos evolucionistas (p. ej., Maynard Smith, 1995). Sin embargo, la cuestión es: ¿qué aporta esta tesis –si es que aporta– a nuestra comprensión del proceso de la evolución y la teoría evolutiva? Sostenemos que nada en absoluto. Las razones de nuestro escepticismo son las siguientes.

Para empezar, la proposición "la evolución *es* un proceso algorítmico" (Dennett 1995:60) o, equivalentemente, "la evolución *es* un algoritmo", es un enunciado metafísicamente mal formado, porque un algoritmo es una regla o receta formal, por lo tanto un constructo. Por esta razón, todo lo que podría decirse, en el mejor de los casos, es que la evolución (o, más precisamente, los procesos evolutivos individuales) puede *modelarse* o *simularse* mediante algún algoritmo. Sin embargo, como veremos en un momento, incluso ésta es una suposición dudosa.

En cambio, la noción estándar de algoritmo involucra que éste es un método dirigido a metas, "mecánico" y a prueba de impericia: una vez comenzado, sigue adelante sin que importen las circunstancias, de manera que es seguro que alcan-

ce su objetivo preestablecido. Piénsese en los algoritmos para efectuar divisiones largas, para extraer raíces cuadradas o para calcular derivadas e integrales. De manera muy obvia, la bioevolución no es nada por el estilo: es no teleológica, "oportunista" y sujeta tanto al azar como al accidente histórico (p. ej., geológico o meteorológico), por lo tanto, es todo menos predecible en detalle. Es más, cuando diseñamos o usamos un algoritmo, aunque no podamos predecir el resultado final en particular, sabemos con certeza el *tipo* de resultado que debemos esperar que arroje, por ejemplo, la décima cifra decimal de $\sqrt{2}$. En cambio, en evolución no podemos predecir siquiera el *tipo* de cosas que ha de producir el presunto algoritmo evolutivo, es decir, la emergencia de nuevas *especies* de organismos. (Sólo se puede predecir a veces una especie producida artificialmente, esto es, biotecnológicamente.) En resumen, el concepto de especiación no puede adecuarse a la noción corriente de algoritmo.

Sin embargo, hay al menos dos salidas de este dilema –y Dennett busca afanosamente ambas. La primera es desestimar por entero el concepto de especiación, reduciendo la evolución a la selección natural. En verdad, como muchos otros, Dennett confunde la evolución con (o la reduce a) la selección natural. El aspecto más interesante de la evolución, esto es, la especiación, se reduce así a una entrada aleatoria no especificada en un algoritmo de selección, o mejor dicho, de ordenamiento. Como, por supuesto, todas las cosas pueden ordenarse de acuerdo con ciertas propiedades, la concomitante afirmación funcionalista de que la "evolución" es neutral o genérica con respecto al sustrato se vuelve trivialmente verdadera.

La segunda salida de este dilema consiste en suavizar el concepto de algoritmo, de manera que se adecue a cualquier proceso. En verdad, Dennett cree que esencialmente *todo proceso es algorítmico* o al menos tratable como tal (1995:59.) Sin embargo, la noción de algoritmo es tan amplia que la expresión 'proceso algorítmico' se convierte en un pleonasmo. Así, cuando Dennett dice que "la evolución es un proceso algorítmico" (p. 60), nada dice excepto que "la evolución es un proceso". (Y nos preguntamos por qué piensa que "expresarlo de este modo sigue siendo controvertido" [p. 60].) Similarmente, lo que Dennett denomina la 'peligrosa idea de Darwin', es decir, la idea de que "todos los frutos de la evolución pueden explicarse como productos de un proceso algorítmico" (p. 60), así se resume en la afirmación "todos los frutos de la evolución pueden explicarse como productos de un proceso". Peor aún, como el término 'evolución' se refiere a la clase de todos los procesos evolutivos (individuales), a lo que a menudo se hace referencia como *el* proceso evolutivo, podemos reformular nuevamente su afirmación como "todos los frutos del proceso evolutivo son resultados de un proceso". Esta idea es peligrosa sólo si alguien realmente creyera que agrega algo a nuestra comprensión de la evolución.

En una perspectiva más amplia, sin embargo, la tesis de Dennett *es* peligrosa: es otro ejemplo de funcionalismo, de acuerdo con el cual el sustrato material resulta irrelevante para la función del sistema en cuestión, porque todo lo que importaría sería la "forma lógica del proceso". Sin embargo, si se supone que no só-

lo la evolución, sino también, como vimos antes (secciones 4.4 y 6.2) la vida y la mente son neutrales con respecto al sustrato, no sólo la teoría de selección sino todas las teorías correspondientes serían "elevadas de su base en la biología" (Dennett, 1995:58), dado que después de todo tienen que ver con la búsqueda de verdades *abstractas* (p. 59). Tal concepción formalista e inmaterialista de la biología parece atractiva para algunos, al ahorrarles la tarea de aprender algo sobre biología (esto es, citología, fisiología, genética, desarrollo, morfología, ecología, neurobiología, etc.) así como sobre campos adyacentes tales como biofísica y bioquímica. En última instancia, es la idea de que la biología puede ser perseguida por matemáticos puros, y más aún, que todas las ciencias fácticas son reducibles a las ciencias formales, que sí son neutras con respecto al sustrato, dado que tratan de objetos conceptuales y no materiales. *Ésta* es una idea peligrosa –no la de Darwin, sino la de los funcionalistas.

9.3.6 *Estatus metodológico de la teoría de la evolución*

Inmediatamente después del popperianismo, mucho se ha escrito acerca del estatus científico y metodológico de la teoría de la evolución. En particular, se ha afirmado que TE es tautológica e irrefutable, que no contiene leyes$_2$ y que no hace predicciones propiamente dichas. Es bien sabido que Popper dictaminó que TE era un programa de investigación metafísico (1972, 1974) en vez de una teoría científica en forma –opinión de la que se retractó más tarde (1978.) Como las preocupaciones y críticas de Popper, así como las de otros (p. ej., Goudge, 1961; Smart 1963), han sido ampliamente tratadas en la literatura (véase, p. ej., M.B. Williams, 1973b, 1981; Ruse, 1977, 1988; Caplan, 1978; Olding, 1978; Brady, 1979; van der Steen, 1983; Bunge, 1985b; Rosenberg, 1985; van der Steen y Kamminga, 1991), sólo haremos aquí algunas observaciones generales.

Como TE es un sistema de teorías en vez de una teoría propiamente dicha, no ha de sorprender que sólo se le pueda verificar indirectamente, en virtud del ensayo de sus teorías componentes. Sin embargo, debe admitirse que incluso las teorías componentes son difíciles de poner a prueba. Antes que nada, toda teoría se compone de infinitas proposiciones, de modo que sólo se puede ensayar un subconjunto finito de proposiciones. Cuáles sean ensayadas en efecto depende mayoritariamente de lo interesantes que puedan resultar para los científicos y de la facilidad con que sean verificables. Así, usualmente se encuentran haces de hipótesis bien contrastadas junto con hipótesis que apenas si son puestas a prueba. Segundo, cuanto más profunda y general sea una teoría, más difícil es ponerla a prueba (véanse secciones 3.5 y 3.7). Por ejemplo, ninguna de las fórmulas de la mecánica cuántica sobre estados estacionarios es directamente contrastable: sólo son observables las transiciones entre tales estados. No resulta sorprendente que esto también valga para la teoría sintética, es decir, la teoría de la selección natural más la teoría genética, que se refiere a las poblaciones de eucariotas de reproducción sexual. En su forma general, es cierto que es confirmable pero no refu-

table. Para llegar a la contrastabilidad fuerte (definición 3.15), debemos construir modelos$_3$ ligados de la teoría general. Esto es, debemos enriquecer la teoría general con supuestos subsidiarios acerca de la especie o taxón superior de organismos en particular, a la cual ha de aplicarse la teoría general, así como acerca de las circunstancias especiales. (Véase también Tuomi, 1981.) Sin embargo, de hecho sólo se ha puesto a prueba un número muy pequeño de los casi millones de modelos posibles de la teoría sintética.

En suma, ni el sistema de teorías llamado *teoría de la evolución* ni sus teorías generales componentes son verificables sin más. Lo verificable son los modelos ligados de las teorías componentes. Así, la confirmación para el sistema de teorías TE se obtiene mediante lo que podría denominarse la 'consiliencia evidencial' de los diversos modelos de sus teorías componentes.

En verdad, hay abundante evidencia para las teorías componentes de TE y, de esta manera, para el sistema de teorías que llamamos 'teoría de la evolución'. Esta evidencia puede agruparse en tres tipos: circunstancial, directa e histórica. Por ejemplo, la morfología funcional ofrece la evidencia *circunstancial*, y consiste en descripciones de imperfecciones antes que de aptaciones. Mientras que la aptación óptima podría tomarse como evidencia de diseño inteligente y, de esta manera, como respaldo de enfoques teleológicos de la biología (p. ej., ortogénesis o, peor aún, creacionismo), el desempeño subóptimo, las fallas obvias en el "diseño", recapitulaciones, órganos vestigiales y la ocurrencia masiva de ADN "chatarra", tienen sentido sólo en una teoría o sistema de teorías que opere con conceptos tales como accidente histórico, variación y selección. Ejemplos bien conocidos de fallas en el "diseño" que sólo pueden explicarse en un contexto evolutivo son el cruce de los conductos alimentario y respiratorio en nuestras gargantas, y la conexión abierta entre los ovarios y las trompas de Falopio, que ocasionalmente da lugar a embarazos en la cavidad abdominal. Otro ejemplo de mal "diseño" es el *descensus testiculorum*: el hecho de que, en muchos embriones de mamíferos (aunque no en todos), los testículos se desarrollan originalmente cerca de los riñones, sólo para migrar más tarde hacia dentro del escroto, en una posición que obliga al conducto espermático a recorrer un camino (innecesariamente) largo alrededor del pubis, que no es práctico ni seguro. (Más sobre fallas en el "diseño", así como sus consecuencias para el debate sobre el creacionismo, en Mahner, 1986.) Otra evidencia circunstancial –los datos sobre extinción– es producida por la paleontología, que también es *la* proveedora de evidencia *histórica* para la TE.

La evidencia *directa* para la TE se encuentra disponible principalmente para la teoría de la selección. Es de naturaleza triple: observacional, experimental y práctica. La evidencia *observacional* va de las ya clásicas polillas moteadas a la selección a corto plazo del tamaño del pico en los pinzones de Darwin (véase, p. ej., Dobzhansky *et al.*, 1977; Boag y Grant, 1981; Futuyma, 1986). Los *experimentos* sobre el "poder" de la selección son bien conocidos: abarcan desde experimentos con moléculas de ARN ("evolución molecular"), pasando por bacterias (p. ej., diversos fenómenos de resistencia) hasta *Drosophila*. En particular, los últimos hasta forman parte de muchos cursos introductorios sobre genética y evolución. Ex-

perimentos más recientes han investigado el papel y la preponderancia de la adaptación *versus* azar en la evolución (Travisano *et al.*, 1995). Finalmente, la evidencia *práctica* consiste, por supuesto, en los resultados de la selección y cría artificiales, ya sean precientíficos o tecnológicos. No es accidental que Darwin haya destinado el primer capítulo de su clásico de 1859 a esta materia.

Lo que vale para la contrastabilidad también vale para la explicación y predicción. Claramente, un sistema de teorías, al no ser deductivamente cerrado, no permite las explicaciones o predicciones directas, que tienen la forma de argumentos lógicos. Es más, sus teorías componentes son generales, y las teorías generales sólo permiten explicaciones y predicciones generales. Por ejemplo, la teoría genética de poblaciones en general puede predecir la distribución de cualesquiera genotipos$_O$ en cualquier población, pero, a menos que especifiquemos la teoría para alguna especie de interés, nada específico puede predecirse. (Más sobre predicciones generales de la teoría de selección en M.B. Williams 1973b.) Lo mismo vale para la explicación.

Aunque las predicciones no necesariamente versan sobre el futuro -también hay retrodicciones (véase sección 3.6.2)- la naturaleza de la evolución parece imposibilitar los pronósticos precisos. En realidad, como la evolución involucra la emergencia de novedades cualitativas, las que a su vez pueden involucrar eventos al menos parcialmente aleatorios como mutaciones y accidentes históricos, parece que no se puede pronosticar la evolución biótica a largo plazo.

Aun así, aunque podamos ser incapaces de predecir transformaciones fenotípicas particulares, el conocimiento de las restricciones de desarrollo y filogenéticas debería permitirnos predecir el *rango de posibles* transformaciones de los miembros de un taxón dado. Sin embargo, antes de seguir elaborando esto, deberíamos elucidar la noción de restricción filogenética. Obviamente, la filogenia no constriñe nada en sentido literal, porque el pasado no actúa sobre el presente. Lo único que puede significar 'restricción filogenética' es que, para cada organismo x (que no se haya originado por neobiogénesis), haya una clase de propiedades (restricciones y leyes) de x de las que se pueda dar cuenta sólo mediante referencia a las propiedades de los ancestros de x. Como el pasado no actúa sobre el presente, todas las restricciones filogenéticas deben ser restricciones de desarrollo. Pero, por supuesto, la recíproca no vale. (Más sobre restricciones en Amundson, 1994.)

Ahora bien, como todas las restricciones filogenéticas son en realidad restricciones de desarrollo, y como éstas (en el contexto de la evolución) son en realidad leyes de desarrollo (en el contexto del desarrollo), las leyes de un taxón dado especifican el rango de las posibles transformaciones legales de sus miembros. Conociendo esas leyes, podemos inferir la clase complementaria de las transformaciones imposibles. (Como en la práctica a menudo resulta más fácil enunciar lo que es imposible que lo que es posible, los biólogos usualmente hablan de restricciones y prohibiciones en vez de leyes y posibilidades: véase sección 1.4.3, así como Gould, 1989.) Así, construyendo modelos de espacio nomológico de los estados de los miembros de un taxón dado, deberíamos ser capaces de especificar el conjunto de sus transformaciones posibles. Aun así, parece que no podemos

predecir transformaciones en particular porque ellas dependen no sólo de leyes del desarrollo sino de accidentes históricos. Sin embargo, esta situación no invalida la búsqueda de leyes en biología, ni mina el estatus científico de TE.

Igual que las teorías de selección y genética de poblaciones, otros componentes de TE no parecen involucrar leyes y teorías generales, sino consistir en mera historiografía o en reconstrucción de la filogenia. No debería sorprender, entonces, enterarnos de que a menudo se cree que TE también comprendería las llamadas explicaciones narrativas, en vez de deductivo-nomológicas (recuérdese sección 3.6.1.4). Empero, sin referencia a mecanismos, los escenarios evolutivos y las reconstrucciones filogenéticas son, en el mejor de los casos, descripciones y no explicaciones. Como tales, pertenecen a la historia (más precisamente: historiografía) natural, y no a la teoría de la evolución, que después de todo es una teoría sobre los mecanismos de la evolución.

Sin embargo, si han de ser explicativos, los modelos evolutivos involucrarán leyes y mecanismos, aunque no necesariamente se enuncien en una forma deductivo-nomológica. Por ejemplo, un modelo o un escenario evolutivo sobre la evolución de las aves, a menos que sea una historia *ad hoc*, hará uso de cualquier conocimiento biológico disponible: morfología comparada y funcional (p. ej., función y estructura de los rasgos aviarios relevantes), biología del desarrollo (p. ej., explicación de la estructura alar, en particular la reducción y fusión de dedos), paleozoología y sistemática (secuencia de la evolución de los caracteres aviarios), y ecología (papel y valor adaptativo de los caracteres aviarios.) En este ejemplo hay lugar de sobra para leyes y mecanismos morfológicos, fisiológicos, de desarrollo y ecológicos. En cambio, la intervención de la teoría de la selección y la teoría genética de poblaciones es nula o trivial, porque no tenemos datos ni sobre los regímenes de selección ni de las distribuciones génicas o genotípicas en el Jurásico. Así, todo lo que se requiere es la compatibilidad del escenario con la teoría de la selección y la teoría genética de poblaciones. Sin embargo, éstas no aportan ninguna nueva interpretación profunda y significativa a las reconstrucciones, ya sean descriptivas o explicativas: sólo restringen la construcción de hipótesis evolutivas.

El ejemplo precedente muestra que las leyes involucradas en la emergencia (especiación) y submergencia (extinción) de organismos de nuevas especies "sólo" pueden ser genéticas, de desarrollo y ecológicas: no necesariamente son leyes evolutivas propiamente dichas.

Sin embargo, se han propuesto varios candidatos al rango de ley evolutiva. Por ejemplo, Rensch (1971) enlista un centenar de leyes evolutivas, tales como "Hay una emergencia más rápida de nuevas razas y especies entre poblaciones pequeñas, aisladas, y aquellas que provienen de relativamente pocos individuos, que entre las muy grandes" (p. 133.) No obstante, la mayoría de estas leyes son estadísticas, y no propiamente evolutivas. Más bien, comprenden enunciados biofísicos, biogeográficos, ecológicos, genéticos y de desarrollo. Es más, algunas de estas "leyes" en realidad son enunciados sobre la ocurrencia de tendencias en evolución, tales como la "ley" de Cope: "Hay una tendencia -marcada principalmente en los grandes animales terrestres no voladores- hacia un aumento progresivo en

el tamaño corporal hereditario" (p. 136.) Claramente esto no es una ley sino, a lo sumo, una tendencia, si hay tal (Gould, 1997), a tal punto que la mayoría de las especies a las que se aplica están extintas. Sin embargo, las tendencias (esto es, patrones de secuencias uniformes de estados de sistemas, o eventos en, sistemas) no son leyes, y en cambio deben explicarse en términos de leyes y circunstancias (Popper, 1957a; Bunge, 1967a, 1983a.)

Aunque desde el punto de vista ontológico no pueda haber duda de que los biosistemas se comportan legalmente y que hay generalizaciones que se refieren a $leyes_1$, el problema para la biología –en particular, la biología evolutiva– parece ser predominantemente epistemológico: muchos candidatos a leyes biológicas no se hallan firmemente engastados en teorías biológicas. (Recuérdese la definición 3.9; véase también van der Steen y Kamminga, 1991.) Se necesitará mucho más trabajo para resolver este problema.

Este problema es análogo al de las ciencias sociales, en particular la historia humana, con la diferencia de que ésta se ha estudiado durante dos milenios y medio, no apenas un siglo y medio. En verdad, también aquí hay una cantidad de candidatos plausibles a enunciados legales, tales como "El cambio social es más frecuente en las sociedades heterogéneas que en las homogéneas", y "Rápido crecimiento poblacional → sobrecultivo y deforestación → erosión y pérdida de la fertilidad del suelo → disminución en la producción de alimentos → escasez de alimentos → agitación política". Sin embargo, ninguna de estas cuasileyes merecerá ser considerada una ley histórica propiamente dicha en tanto no se produzca una teoría de la historia completamente desarrollada, si la hay. (Véase Bunge, 1996.)

El fracaso de la historiografía y la biología evolutiva en la obtención de $leyes_2$ no debería servir de consuelo a los antinomianistas, o partidarios antilegales en la filosofía de la ciencia, de acuerdo con los cuales dichas disciplinas serían necesariamente idiográficas (esto es, acerca de particulares) en vez de nomotéticas (es decir, que involucran leyes.) En realidad, si ni la historiografía ni la biología evolutiva produjeron ninguna ley propia, ambas adoptarían $leyes_2$ generadas en otros campos. Esto, antes que la producción de $leyes_2$, es suficiente para asegurar su estatus como disciplinas científicas.

Para concluir, aun si resultara vindicado el aserto de Popper (1957a) de que no hay una ley de la evolución singular, omnicomprensiva, el término 'evolución' aún podría referirse a una clase de procesos evolutivos individuales legales, y la biología evolutiva seguiría siendo una disciplina científica, dado que involucra leyes de la genética, el desarrollo, la selección, etc. Por último, pero no por ello menos importante, si el lector se toma la molestia de aplicar todas las condiciones, incluidas en la sección 5.5.1, que un campo de investigación ha de cumplir para contar como disciplina científica, quedará con la firme convicción de que la biología evolutiva pasa la prueba con las banderas desplegadas.

10 TELEOLOGÍA

La teleología es uno de los temas clásicos en la filosofía de la biología. (Véase, p. ej., Sommerhoff, 1950; Beckner, 1959; Bunge, 1973a, 1979b, 1985b; Ruse, 1973, 1982, 1988; Hull, 1974; Mayr, 1982, 1988; Rosenberg, 1985; Sattler, 1986.) La popularidad de las nociones teleológicas en biología no resulta sorprendente, dado que el modo de pensar teleológico –central para el antropomorfismo– es casi tan antiguo como la humanidad. El pensamiento teleológico es por analogía acorde con la conducta humana dirigida a propósitos y por ello se comprende fácilmente. Sin embargo, como se señaló en la sección 3.6, entender un hecho no es lo mismo que explicarlo en términos científicos. La comprensión es una categoría psicológica y no ha de confundirse con la explicación científica, que es una categoría metodológica. De acuerdo con esto, la tarea del metodólogo no es estudiar cómo el pensamiento teleológico fomenta nuestra comprensión intuitiva de los hechos biológicos, sino investigar si el uso de conceptos teleológicos es científicamente necesario y legítimo en un contexto dado, y si hay algo que merezca considerarse una explicación teleológica.

Aunque ocasionalmente pueden encontrarse expresiones teleológicas en las ciencias físicas (p. ej., "Para seguir moviéndose en contra de una fuerza un cuerpo debe tomar energía de una fuente externa"), se reconoce generalmente que éstos son ejemplos de vocabulario descuidado. En las ciencias biológicas, sin embargo, la situación es diferente. En realidad nos encontramos aquí con una situación cuasi-esquizofrénica. Por un lado, muchos autores sostienen que los conceptos teleológicos son legítimos en biología, o incluso constitutivos de la (presunta) autonomía de la biología; en cambio, se esfuerzan en señalar que la teleología biológica por alguna razón no es genuina teleología, sino una *a modo de*-teleología, ocasionalmente denominada 'teleonomía'. Una contradicción semejante se encuentra en la aseveración de que las explicaciones teleológicas en biología podrían traducirse en términos no teleológicos, pero que eliminar totalmente la teleología sería imposible porque "algo se perdería" al hacerlo. De esta manera, los biólogos aparentemente no pueden vivir *con* la teleología, pero tampoco pueden vivir *sin* ella.

A fin de arrojar luz sobre este problema, examinaremos varias nociones de teleología, así como algunos intentos de volver científicamente respetable la teleología. (Para un resumen histórico de la noción de teleología, véase Lennox, 1992a.)

10.1 TELEOLOGÍA INTERNA Y EXTERNA

A menudo se distingue entre dos nociones de teleología: interna y externa, dependiendo de si se considera que el *telos* es una propiedad inmanente de un objeto o si se le atribuye desde fuera (véase, p. ej., Goudge, 1961; Ayala, 1970; Woodfield, 1976; Lennox, 1992a).

La teleología *interna* tiene dos versiones: cósmica y regional. De aquellas cosas que tienen alguna propiedad inmanente o intrínseca que las hace dirigirse a, o concebir, metas o propósitos puede decirse que son internamente teleológicas. Si la finalidad o teleología interna es una propiedad atribuida a *todas* las cosas, podemos hablar de teleología interna cósmica o *panteleología* interna. Ejemplos bien conocidos son el animismo y el concepto de entelequia (natural) que aparece en la metafísica aristotélica.

La versión regional de la teleología interna sostiene que la finalidad no es inherente a todas las cosas, sino sólo a algunas -en particular, entidades vivientes. La teleología interna regional, o *hemiteleología* interna, puede analizarse aun en las variedades naturalista y animista (Lennox 1992a.) Por ejemplo, la (presunta) finalidad de las cosas vivientes puede ser sólo una propiedad natural inmanente, como en el caso de la intencionalidad humana, o puede deberse a una entidad, agente o fuerza cuasi-intencional de carácter inmaterial o espiritual inherente a todos los seres vivientes, según presumen los psicovitalistas.

Si los propósitos y metas no son propiedades intrínsecas de las cosas y en cambio se les atribuye o asigna un agente capaz de concebir metas o propósitos, hablamos de teleología *externa*. Así, la teleología externa presupone al menos una entidad que es internamente teleológica, capaz de atribuir metas o propósitos a otras entidades.

También en la teleología externa existen las variedades cósmica y regional. La teleología externa cósmica o panteleología externa se remonta a Platón, que creía que los propósitos y metas de las cosas habían sido concebidos y plantados por un agente racional divino, es decir, el creador del mundo. La teleología externa cósmica fue fácilmente adoptada por el cristianismo, y así dominó el estudio de la vida mientras la teología natural tuvo influencia sobre la biología. También era parte esencial de la metafísica de Leibniz. Sin embargo, aun después del triunfo de la biología evolutiva, alguna suerte de teleología externa cósmica debe ser invocada por los religiosos que desean reconciliar la biología evolutiva con una perspectiva religiosa, por ejemplo, asumiendo algún tipo de evolución ortogenética que resulta en la emergencia de los seres humanos (Mahner y Bunge, 1996). Un ejemplo famoso es la teleología cósmica de Teilhard de Chardin (1964.)

Si no hay teleología cósmica, al menos hay algunos agentes conscientes en el universo, tales como los seres humanos, que sí tienen intenciones y pueden así atribuir metas o propósitos a las cosas, o crear cosas para un cierto propósito. Los artefactos humanos, entonces, resumen la teleología externa regional o hemiteleología externa. Debería notarse, sin embargo, que, como la orientación de los artefactos a un propósito es externa, tienen una "función" o propósito sólo mien-

tras los use alguien, es decir, mientras haya un agente que les atribuye propósitos. En otras palabras, el propósito o "función" de un artefacto no es una propiedad intrínseca de éste, sino una propiedad del sistema diseñador-artefacto o usuario-artefacto. El artefacto no tiene propósito alguno cuando nadie lo usa o piensa. Por ejemplo, una computadora en un basurero no tiene ningún propósito o "función", aunque alguien que la rescate de allí y sea capaz de volver a pensar las intenciones de su diseñador, por ejemplo, examinando su estructura, puede (re)atribuirle algún propósito, quizás hasta su propósito original. Nótese que, al hacerlo, la estructura de un artefacto puede suministrar *evidencia* de diseño y orientación a propósitos, pero ésta no puede equipararse a diseño y orientación a propósitos en sí. Un artefacto puede *servir* entonces a un propósito, pero no posee uno.

Según se crea que todo es teleológico o sólo algo lo es, ya sea interna o externamente, hemos distinguido entre *panteleología* y *hemiteleología*. Por supuesto, la tercera opción es la *ateleología*, es decir, la tesis de que nada es teleológico. (Véase también Bunge, 1985b; Woodfield, 1976.) La ateleología es obviamente falsa porque al menos alguna conducta de los vertebrados superiores está dirigida a metas o propósitos, tal como la de los autores de este libro al escribirlo.

La panteleología también es rechazada por cualquier metafísica científica. En ésta no hay lugar para entidades sobrenaturales capaces de concebir algún propósito o imponer un propósito cósmico. Tampoco la física y la química atribuyen a sus referentes orientación a propósitos, aunque ocasionalmente pueden hallarse oraciones teleológicas en la literatura física y química. Pero éstas han de considerarse descuidos o lenguaje elíptico, porque se les puede eliminar fácilmente sin pérdida de significado. Por ejemplo, la oración 'E es la energía que *se necesita para* completar la reacción R' puede, o mejor dicho debe, formularse como 'E es la energía *consumida* por el sistema al completar la reacción R'. Por lo tanto, la panteleología interna también es errónea.

Así, nos quedamos con la variedad regional o hemiteleología, ya sea interna o externa. Como la forma psicovitalista de la teleología interna también es contraria a una ontología científica, concordamos finalmente con aquellas versiones de la hemiteleología interna y externa que sean consistentes con el naturalismo científico. Es más, como nuestro tema aquí es la filosofía de la biología, y como la teleología externa de los artefactos depende de la teleología interna de algunos organismos, podemos soslayar la teleología externa y enfocarnos en la (presunta) teleología interna de los seres vivientes.

10.2 TELEONOMÍA

A fin de evitar la confusión con la teleología cósmica o vitalista, se ha sugerido denominar a una noción de teleología científicamente respetable, si la hay, *teleonomía* (Pittendrigh, 1958). Aunque esta propuesta ha ganado aceptación entre al-

gunos biólogos (véase, en particular, Mayr, 1982, 1988; Monod, 1971; Hassenstein, 1981), la mayoría de los filósofos, aunque acepte la versión naturalista de la hemiteleología, no sigue esa distinción terminológica. Adoptaremos el término 'teleonomía' para los fines del análisis subsiguiente, pero volveremos a 'teleología' después de haber identificado el contexto en el que, según pensamos, el uso de este concepto es legítimo.

Al descartar la ateleología, y al mismo tiempo la ateleonomía, podemos, desde un punto de vista lógico, distinguir dos versiones de la teleonomía biológica. O bien puede decirse que *todos* los seres vivientes son sistemas teleonómicos o que sólo *algunos* seres vivientes están orientados a propósitos, o persiguen metas. Estas concepciones pueden denominarse, respectivamente, *panteleonomía* y *hemiteleonomía*.

10.2.1 *Hemiteleonomía*

Si algunos seres vivientes tienen metas, planes o intenciones, los seres humanos (o, mejor dicho, las personas) son el epítome de este tipo de teleonomía. Lo más probable es que algunos otros animales sean capaces de una conducta orientada a metas. Empezando con este ejemplo de hemiteleonomía, examinaremos si la noción de teleonomía puede ampliarse legítimamente a todos los seres vivientes.

Reconocer una conducta dirigida a propósitos en seres humanos y algunos otros animales no es una señal de oscurantismo, con tal que no se añada que el formar propósitos y elaborar medios para alcanzarlos son atributos de la mente o alma inmaterial. La conducta dirigida a propósitos puede explicarse, al menos en principio, en términos de procesos que ocurren en sistemas nerviosos centrales altamente evolucionados (véase, p. ej., Hebb, 1966; Bindra, 1976; Bunge, 1980). Una manera de explicar el propósito se da en términos de aprendizaje y expectativa, donde cada una de éstos se concibe como una actividad en particular de ciertos sistemas neuronales. Como nos hemos ocupado del aprendizaje en el capítulo 3, sólo necesitamos definir aquí las nociones de expectativa y comportamiento dirigido a propósitos. Así, comenzamos con:

DEFINICIÓN 10.1. El animal b *espera* un evento futuro e de tipo E al sensar un estímulo r (interno o externo) estando en el estado s, si y sólo si b ha aprendido a aparear r y s con e.

Ahora estamos listos para nuestra definición del concepto de conducta dirigida a propósitos:

DEFINICIÓN 10.2. Una acción x de un animal b tiene el *propósito* o *meta* y, si y sólo si

(i) b puede elegir *no* hacer x;
(ii) b ha *aprendido* que x produce o mejora la posibilidad de alcanzar y;
(iii) b *espera* la posible ocurrencia de y al hacer x, y
(iv) b *valora* y (no necesariamente de manera consciente.)

En esta definición la conducta orientada a propósitos no es exclusiva de los humanos. Sin embargo, es tarea de la neurobiología y la etología comparadas descubrir qué animales no humanos poseen en efecto las capacidades requeridas, tales como aprendizaje y expectativa. En cambio, esta versión de la hemiteleonomía restringe claramente la conducta dirigida a propósitos a un subconjunto bastante pequeño de Animalia, cuyos miembros poseen sistemas nerviosos plásticos de cierta complejidad.

Nótese que, de acuerdo con la definición 10.2, es incorrecto imputar un comportamiento de búsqueda de metas a sistemas de animales, en particular a sistemas sociales tales como cardúmenes o empresas. Sólo los individuos, cuando están lo suficientemente evolucionados, tienen la capacidad de formar metas y elucubrar medios para alcanzarlas. La concepción de una meta es un proceso que ocurre en cerebros individuales, no en grupos: éstos no tienen cerebro. Es necesario aclarar que dos o más miembros de un grupo animal pueden combinarse para conseguir una meta en común; en el caso de los seres humanos, pueden discutir tanto la meta como los medios óptimos para alcanzarla, y eventualmente alcanzar un compromiso que no se ajusta a ninguno de los objetivos originales de los individuos involucrados. Aun así, la meta de compromiso no está sino en los cerebros de los miembros del grupo. Los grupos sociales, ya se trate de manadas de lobos o de escuelas, no tienen metas más allá y por encima de las de sus componentes individuales. Una meta colectiva no es sino lo que tienen en común las metas individuales.

Nuestra versión de la hemiteleonomía pertenece a la familia de doctrinas que se ha dado en llamar la *concepción intencional* (Nagel, 1977), porque usualmente se formula en términos de intenciones, deseos, anhelos, creencias, etc. (Woodfield, 1976). Resulta obvio, a partir de la concepción intencional, que los conceptos teleológicos no pueden usarse legítimamente más allá del dominio enunciado en la definición 10.2, que puede resumirse en la fórmula: *sin cerebro plástico no hay teleología*. Sin embargo, a menudo se ha hecho el intento de extender el concepto de hemiteleonomía a una forma de panteleonomía. Tanto, que algunos filósofos han afirmado que "si algo ha de contar como sistema teleológico, son los organismos vivientes" (Hull, 1974:104).

10.2.2 *Panteleonomía*

Examinaremos aquí sólo dos de tales intentos (Nagel, 1977): la *concepción en términos de propiedad del sistema*, que trata de explotar conceptos de teoría de sistemas y cibernética, y la *concepción en términos de programa*, que trata de concebir a los procesos dirigidos a metas en términos de la teoría de la información. (Véase también Hull, 1974; Engels, 1982; Mayr, 1988.)

10.2.2.1 Sistemas cibernéticos y teleonomía

La concepción en términos de la propiedad del sistema no se encuentra confinada a la biología. En realidad se originó en la ingeniería y se ha convertido en materia de la cibernética, que estudia a los sistemas en general, esto es, sin considerar la naturaleza de sus componentes. (La referencia clásica es Rosenblueth *et al.*, 1943.) Sin embargo, como todos los biosistemas son sistemas autorregulados (postulado 4.1), los conceptos teleonómicos pueden fácilmente aplicarse a los biosistemas, si se dice que todos los sistemas homeostáticos son teleonómicos.

La cibernética trata de sistemas en general, cuyas actividades son controladas por ciclos de retroalimentación negativa. Uno de los conceptos centrales es el de *estado meta* o *Sollwert* (valor debido) de un sistema, que se refiere al hecho de que un sistema autorregulado se estructura de tal manera que las desviaciones con respecto a un cierto estado se compensan mediante retroalimentación negativa. Por supuesto, resulta tentador considerar este estado final de un sistema como su 'meta', y así considerar a los procesos en el sistema como 'dirigidos a metas'. Esta tentación es estimulada por el viejo error conductista y operacionista de considerar dirigido a metas cualquier proceso que exhiba una tendencia a alcanzar un cierto estado final más allá de la variación en los puntos de partida y las circunstancias. Sin embargo, esta plasticidad observable sólo puede ser un *indicador* de que el proceso en cuestión podría ser dirigido a metas: no puede definir al carácter de meta en sí (Woodfield, 1976).

Si hubiera alguna meta en un sistema cibernético sólo podría descubrírsele estudiando la estructura interna del sistema, no meramente observando su conducta manifiesta. Sostenemos que no hay nada que se pueda denominar meta o propósito en un sistema autorregulado porque nada hay, más allá de su estructura interna y de la tradición operacionista en quienes estudian tales sistemas, que pueda justificar hablar de metas en el caso de sistemas naturales. La estructura de un sistema no es un propósito y sus estados finales no son metas. Sólo pueden convertirse en tales por definición. Hablar de metas y propósitos en cibernética no es sino una extensión metafórica de la intencionalidad humana. En otras palabras, en la teoría del control los estados finales son metas sólo por poder.

Mientras que los artefactos pueden exhibir teleonomía externa, los biosistemas sólo pueden considerarse, si acaso, ejemplos de teleonomía interna, al menos desde un punto de vista naturalista. Sin embargo, algunas formulaciones en la literatura parecen presuponer una teleonomía externa de los biosistemas. Por ejemplo, a menudo se dice que un órgano o rasgo ha sido "diseñado por la selección natural para una cierta función". Al hacerlo, la selección natural es reificada como un agente que externamente dota a un biosistema de una meta o propósito. (Obviamente, el hábito de pensar en el espíritu de la teología natural resulta duro de matar. El hecho de que Dios haya sido remplazado por la selección natural después de 1859 no marcó ninguna diferencia en cuanto a la presunta teleología de los biosistemas [Ruse, 1982].) Sin embargo, si se ven acorralados, la mayoría de los biólogos pueden admitir que la selección no es un agente, y así su lenguaje en

términos de diseño es una metáfora que toman prestada del modelo de los artefactos humanos. Peor aún, si no hay teleonomía externa en la biología, la metáfora no sólo es desafortunada sino simplemente errónea. Ésta es una de las razones por las que consideramos errado cualquier intento de obtener un concepto de teleología que valga tanto para los artefactos como para los biosistemas (como el perseguido, p. ej., por Griffiths, 1993).

¿Qué hay de la teleonomía interna de los biosistemas? Al sugerir que los procesos tienen metas, mientras que los sistemas tienen propósitos, Ernst Mayr (1988) propuso considerar teleonómicos sólo los procesos dirigidos a metas tales como el desarrollo, no a sistemas cuasiestáticos tales como el esqueleto, más allá de lo útiles o "a propósito" que puedan resultar. Sin embargo, el concepto de *telos* comprende tanto metas como propósitos. Acerca de los propósitos, los biólogos aún hablan de la funcionalidad u orientación a propósitos de los biosistemas, como si la noción de teleonomía pudiera legítimamente extenderse de los artefactos a los biosistemas. Si la teleonomía biológica es interna, sólo la estructura interna del sistema y su rango de actividades resultante podrían equipararse con su "propósito" o "función". Por supuesto, en la mayoría de los casos, la estructura interna de un sistema se deberá a la adaptación, pero el concepto de adaptación no es cointensivo con las nociones de propósito, "función propia" o rol (véase sección 4.6).

Curiosamente, Mayr (1988) admite que la noción de adaptación ha remplazado la visión teleonómica de los biosistemas. Éste podría ser un caso de deteleologización exitosa de conceptos biológicos, si los biólogos lo siguieran, admitiendo que el lenguaje funcional es entonces metafórico. Sin embargo, la mayoría de los biofilósofos continúan defendiendo las explicaciones teleológicas en biología en términos de "funciones propias" o propósitos de los biosistemas (p. ej., Millikan, 1989; Neander, 1991; Griffiths, 1993); o bien, afirman que las explicaciones en términos de adaptación serían teleológicas en el sentido de que contestan preguntas *¿para qué?* (Brandon, 1990). Sin embargo, una pregunta *¿para qué?* que no se responda por referencia a un propósito genuino, sólo es tal por analogía; por lo tanto, es metodológicamente ilegítima, aunque pueda proveer un punto de partida de algún valor heurístico (recuérdese sección 4.8).

Mientras admite que hablar de propósitos es ilegítimo en el caso de los biosistemas, Mayr insiste en que *hay* una teleonomía genuina en biología -la que exhiben los procesos dirigidos a metas, tales como el desarrollo. Examinemos más de cerca esta opinión.

10.2.2.2 ¿Programas como entidades que confieren metas?

No puede haber duda de que los organismos experimentan procesos que llevan a algún estado final, o más precisamente etapa final. Un ejemplo principal es el desarrollo de un cigoto en un organismo adulto. Como hay un estado inicial del sistema, así como un estado final o extremo, que usualmente se alcanza en circunstancias variables, aunque globalmente favorables, hasta ahora no hay diferen-

cia con el caso de los sistemas cibernéticos en general. Así, vuelve la tentación operacionista de concluir que alcanzar un cierto estado es la meta del proceso. Sin embargo, como se hizo notar previamente, el hecho de que un proceso alcance un cierto estado final no resulta suficiente para considerar este estado final una meta. Por ejemplo, un río usualmente alcanza el mar pese a los muchos obstáculos geomorfológicos en su camino. Nadie, excepto el panteleólogo, atribuirá una meta al río. A fin de distinguir los procesos aparentemente dirigidos a metas de aquellos (presuntamente) dirigidos genuinamente a metas, Mayr (1988) ha propuesto llamar a los primeros, procesos *teleomáticos*.

¿Cómo, entonces, se supone que han de caracterizarse los procesos genuinamente dirigidos a metas o *teleonómicos*? Los biosistemas se distinguen claramente de las cosas no vivientes por poseer moléculas de ácidos nucleicos (véase postulado 4.1), que se usan como matrices moleculares en la síntesis de proteínas, por lo tanto enzimas, y de esta manera influyen sobre los procesos metabólicos y codeterminan el desarrollo. Así, se concluye que el carácter dirigido a metas de los procesos bióticos se debe a la acción de un "programa" genético. Aunque rechazamos la noción de programa genético en la sección 8.2.3, resultará útil examinar brevemente las opiniones de dos defensores bien conocidos de la noción de programa genético, Jacques Monod (1971) y Ernst Mayr (1988.)

Monod define el carácter dirigido a metas en términos de un llamado "proyecto teleonómico": "de todas las estructuras, todos los procesos y todas las actividades que contribuyen al éxito del proyecto esencial, se dirá [...] que son 'teleonómicos'" (p. 27). El problema con esta caracterización es que vuelve inconsistente la idea de teleonomía, esto es, la definición de 'teleonómico' de Monod lleva a la contradicción (Bunge, 1979b). De hecho, sin un ambiente favorable, ningún organismo podría ser capaz de llevar a cabo su proyecto teleonómico. Por lo tanto, tal como al organismo, la teleonomía debería ser asignada también al ambiente (o hábitat), en la medida en que "contribuya al éxito del proyecto". Pero como el ambiente contiene cosas no vivientes, también éstas serían teleonómicas. Así, no quedaría diferencia alguna entre las cosas vivientes y las no vivientes –lo que contradice la tesis de que la teleonomía es peculiar de los biosistemas. En resumen, el intento de Monod de justificar la panteleonomía fracasa. Lo mismo vale, incidentalmente, para la definición de Wimsatt (1972) de "propósito" como cualquier "contribución a la aptitud de una unidad evolutiva" (p. 8).

Mayr evita las consecuencias contradictorias de la definición de Monod. Él define así un proceso teleonómico (Mayr 1988:45):

En una conducta o proceso teleonómico, la dirección a una meta se debe a la operación de un programa (1)

En realidad, esto es dos definiciones en una. Por lo tanto, reformulamos (1) como

Un proceso x es teleonómico $=_{df}$ x está dirigido a metas; (1a)
x está dirigido a metas $=_{df}$ x es operado por un programa. (1b)

En esta definición no se especifica la naturaleza del programa. Podría ser un programa en el material genético o un programa conductual en el cerebro del animal. Al referirse a un programa, Mayr critica las definiciones de la "teleonomía" en términos de la concepción cibernética, porque la parte que dirige a metas (p. ej., un termostato) en tales casos no *produciría* o *causaría* el proceso o conducta en cuestión, sino que sólo la *regularía* o *controlaría*. Sin embargo, lo mismo es cierto acerca del programa genético. Si consideramos que el programa genético de un organismo es idéntico a la estructura de su molécula (o moléculas) de ADN, se vuelve obvio que tal estructura no hace nada: sólo la cosa estructurada es capaz de hacer algo. En lo referente al ADN, una molécula bastante inerte, éste ni siquiera es el caso: son otras moléculas las que *actúan sobre* el ADN. Así, el ADN nada *causa* en absoluto (recuérdese sección 8.2.3). Por supuesto, el ADN contribuye a determinar el metabolismo y el desarrollo (si cabe hablar de alguno) del biosistema, pero no los causa. Por lo tanto, el programa genético va en el mismo bote que el termostato: ambos sólo regulan, o sea, codeterminan, los procesos en cuestión, pero no los causan. Sin embargo, ésta es sólo una objeción menor, con la cual Mayr podría concordar. Hay un problema mucho más serio con la propuesta de Mayr si damos una mirada más de cerca de su definición de "programa", que se lee como sigue (Mayr 1988:49):

[...]el *programa* podría definirse como la información codificada o prearreglada que controla un proceso (o comportamiento), guiándolo hacia un fin dado. (2)

Si ahora, en el *definiens* de (1b) remplazamos el término 'programa' por el *definiens* de (2) obtenemos algo como:

Un proceso x está dirigido a metas, o es teleonómico $=_{df}$ x es operado por una información codificada o prearreglada que controla un proceso, guiándolo hacia un fin dado.

Ya se considere o no que "dirigido a metas" y "dirigido a un fin" son cointensivos, esta definición resulta defectuosa. Si "dirigido a metas" es cointensivo con "dirigido a un fin", la definición es circular. Si no, la definición es operacionista, y, por lo tanto es una pseudodefinición: el carácter dirigido a fines es, a lo sumo, un *indicador* del carácter dirigido a metas; no puede definirlo. Si tratamos de poner remedio a esta situación eliminando la parte de la oración que contiene la hipótesis indicadora, resulta obvio [véase (1b)] que la problemática noción de telos sólo se desplaza al término restante 'información', más allá de que Mayr afirme lo contrario.

Hemos examinado varios sentidos de 'información' en 8.2.3.2, donde concluimos que la noción de información genética no emplea los conceptos centrales de la teoría de la información, por lo que el único uso legítimo del término 'información' en biología molecular es en el sentido de 'composición y estructura del material genético'. Sólo así puede decirse que el presunto contenido de información del genoma se encuentra permanentemente presente, como la "informa-

ción" encerrada en un libro. Sin embargo, de ser así, la expresión teleonómica 'programa genético' puede remplazarse por la expresión no teleonómica 'material genético'. Decir entonces que un sistema contiene material genético que codetermina algunos de los procesos en el sistema equivale meramente a nombrar algunas de las propiedades de un sistema viviente (véase postulado 4.1). Como "estructura del material genético" y "meta" son apenas cointensivos, no hay razón para considerar los procesos en los biosistemas en manera alguna dirigidos a metas o teleonómicos. Los procesos de desarrollo son legales, y así alcanzan un cierto estado final dadas ciertas circunstancias. Sin embargo, "legal" no es cointensivo con "teleonómico".

La noción de programa o información sólo tiene sentido en el contexto teleonómico si se entiende en el sentido de instrucción. En verdad, muchos biólogos usan abiertamente la palabra 'instrucción' de manera intercambiable con 'programa' o 'información'. Sin embargo, "instrucción" tampoco es cointensiva con "estructura del material genético": "instrucción" es también un concepto intencional (véase nuevamente sección 8.2.3.2). Por lo tanto, es inadecuado para hacer una defensa de la panteleonomía. El intento de volver científicamente respetable el concepto de meta, remplazándolo por el aparentemente inofensivo de información, falla porque éste se usa en el sentido de 'programa' o 'instrucción', que son en sí mismos conceptos intencionales. De esta manera, resulta ilusoria la esperanza de hallar salvación refugiándose en la teoría de la información.

Es más, la metáfora del programa falla no sólo en el caso de los programas genéticos, sino también en el de los programas conductuales. De acuerdo con la definición 10.2, la conducta de búsqueda de metas presupone el aprendizaje. Si una conducta se halla fuertemente conectada o preprogramada, le falta la plasticidad requerida para una genuina conducta de búsqueda de metas. Sostenemos, por lo tanto, que mientras que lo más plausible es que un chimpancé sí trepe a un árbol *a fin de* recoger una fruta, lo más plausible es que una tortuga *no* salga a la playa *a fin de* poner sus huevos. Aunque impactante, es sólo una analogía.

Finalmente, la concepción de programa, si fuera correcta, tendría una consecuencia irónica. (Sólo se trata de mencionarla, no es un *argumentum ad consequentiam*.) Mayr (1988) acertadamente ridiculiza la idea de que, como todos los organismos mueren tarde o temprano, la muerte sería la meta de la vida –famosa tesis teológica, psicoanalítica y existencialista. Sin embargo, algunos biólogos han conjeturado que el envejecimiento y la muerte se hallan "programados" genéticamente porque tendrían el valor selectivo de eliminar de la población a aquellos individuos que ya no son capaces de reproducirse (Grant, 1978.) Por ejemplo, el número de mitosis que algunas células pueden sufrir parece encontrarse genéticamente limitado. Si esto resultara cierto entonces la muerte sería obviamente "programada", constituyendo así la meta de la vida. (La muerte celular "programada", o apoptosis, también es bien conocida en la embriogénesis: véase Grant, 1978; Gilbert, 1994.) El defensor de la concepción en términos de programa, entonces, vindica a los teólogos y a los existencialistas, de quienes difícilmente pueda decirse que sostengan una perspectiva científica. En contraste, el construccio-

nista del desarrollo, al no necesitar noción alguna de teleología, no permanece en semejante dudosa compañía.

10.2.2.3 Conclusión

Como tanto la concepción cibernética como la de programa fracasan en ofrecer argumentos en favor de la panteleonomía, concluimos que hablar de metas y propósitos en estos casos es sólo una extensión metafórica de conceptos tomados de la concepción intencional. Esto es por lo tanto un mero razonamiento analógico, seductor sólo por la familiaridad de los conceptos intencionales involucrados. Por esa misma razón carece de poder explicativo, aunque admitamos que el pensamiento teleológico puede jugar un importante rol *heurístico* en biología (Ruse, 1982, 1988). (Incidentalmente, ya Kant en 1790 lo declaró un principio *regulativo*, desprovisto de poder explicativo.) Sin embargo, vendrán bien dos reservas sobre la fertilidad heurística del pensamiento teleológico. Primero, el pensamiento teleológico puede llevar al adaptacionismo, esto es, la tentación de ver "propósitos" -es decir, roles y adaptaciones biológicos- por todas partes, y urdir cuentecillos adaptativos que pueden parecer plausibles, pero que de cualquier manera carecen de respaldo de la teoría o la evidencia empírica (Gould y Lewontin, 1979). Segundo, a partir del hecho de que la pregunta '¿Para qué es este órgano?' es heurísticamente fructífera, no puede concluirse que el pensamiento teleológico, más allá del área de la hemiteleonomía delineada en la sección 10.2.1, sea legítimo en la teoría biológica. En realidad, incluso la pregunta heurística *¿para qué?* con respecto al órgano *x* de un organismo *y* puede analizarse como un atajo para un conjunto de preguntas no teleológicas: ¿cuál es la función específica de *x*?, ¿cuál es el rol de *x* en *y* en el ambiente dado?, ¿cuál es el valor biológico de la función y rol de *x* en *y*?, ¿confiere *x* algún valor selectivo a *y*?, ¿es *x* una adaptación?, ¿por qué *x* fue evolutivamente exitoso? En suma, en biología no hay preguntas propiamente teleológicas, ni respuestas teleológicas.

En consecuencia, no hay en biología nada que pueda llamarse explicación teleológica o funcional, ya que se reduce a la lista precedente de preguntas no teleológicas (recuérdese sección 4.8.2). Sin embargo, tal como algunas personas, aunque ateos *de facto*, no pueden abandonar la noción de religión debido al adoctrinamiento sufrido en su temprana infancia, muchos biólogos y biofilósofos se aferran a la noción de teleología y tratan de redefinirla y redefinirla con el eventual resultado de que dos conceptos diferentes -la noción intencional de propósito y la noción de adaptación- son tratados bajo el mismo rótulo: 'teleología'. Sin embargo, creemos que esto sólo lleva a permanentes malentendidos y controversia estéril. Para una mayor claridad, sugerimos abandonar los conceptos inadecuados y los términos engañosos. Es más, deshacerse de conceptos obsoletos y términos equívocos nos permite dar a las cosas una mirada renovada.

11 OBSERVACIONES FINALES

En este libro nos hemos esforzado por lograr lo siguiente.

Al introducir algunos fundamentos ontológicos, semánticos y epistemológicos, esperamos prestar un servicio a aquellos biólogos que, aunque interesados en cuestiones filosóficas, han quedado justificadamente perplejos ante la multiplicidad de concepciones filosóficas en pugna, y que por lo tanto han sentido la falta de una perspectiva filosófica unificada, orientada hacia la ciencia.

Al cimentar firmemente nuestra biofilosofía en tal perspectiva filosófica general, deseamos plantear el caso de que los problemas biofilosóficos deben ubicarse en un amplio trasfondo filosófico que incluya no sólo lógica elemental sino también ontología, epistemología, metodología, semántica y ocasionalmente también ética. Por ejemplo, es confuso discutir los procesos biológicos sin el beneficio de un concepto claro y general de proceso. Y no tiene el menor provecho discutir temas de teoría, explicación, predicción y contrastabilidad biológicas, independientemente de la metodología general de la ciencia.

De modo similar, al proponer una filosofía de la biología sistemática (aunque lejos de comprensiva) y, en particular, al adoptar un formato axiomático muy moderado, esperamos haber mostrado que los problemas biofilosóficos deberían enfocarse de manera sistémica antes que fragmentaria; en otras palabras, que las cuestiones biofilosóficas han de relacionarse unas con otras en vez de abordarse aisladamente. Por ejemplo, nuestro enfoque sistemático nos ha permitido seguir desde la noción general de proceso hasta la de proceso de desarrollo, y luego a la de proceso evolutivo o de especiación, proveyendo de esta manera los fundamentos filosóficos para la tanto tiempo buscada unificación de la biología del desarrollo y la evolutiva.

Hemos mostrado que los fundamentos de esta unificación no pueden ser provistos por aquellos biofilósofos que se apoyen demasiado en el seleccionismo (subsumido frecuentemente bajo los rótulos de 'darwinismo' o 'neodarwinismo', cometiendo una injusticia con Darwin) y en lo que se ha dado en llamar 'pensamiento poblacional'. Éste también se ha denominado el principio *variacional* de la evolución, y se le ha contrastado con la concepción *transformacional* de la evolución, donde "transformacional" subsume ideas del cambio evolutivo ya predarwinianas (p. ej., lamarckianas), ya –más generalmente– ideas no darwinianas del cambio evolutivo (Lewontin, 1983a). Obviamente, en la huella del pensamiento poblacional no ha habido lugar para el desarrollo como modo de cambio evolutivo, porque es emblemático como proceso de transformación –un proceso que, incluso, ocurre en los organismos, no en las "especies". Por eso, si deseamos reconciliar la biología del desarrollo con la evolutiva, debemos tratar de combinar el modelo de evolución variacional (poblacional o seleccionista) con uno trans-

formacional actualizado, como hemos intentado hacer en este libro. Aunque algunas sugerencias tendientes a tal integración sí existen en la biología teórica (véase, p. ej., Johnston y Gottlieb, 1990), la base filosófica para esta integración no sólo ha faltado hasta el momento, sino que la actual filosofía neonominalista de la biología, al ser antiesencialista y, por lo tanto, antitransformacionista, también ha imposibilitado cualquier progreso hacia tal integración.

Este ejemplo ilustra otro punto que deseamos señalar: mientras que algunas filosofías pueden ayudar a resolver problemas científico-filosóficos, tales como '¿Qué es una especie?', o '¿Qué es la evolución?' y así contribuir al avance de la ciencia, o al menos a remover algunos obstáculos, otras no pueden hacerlo, o incluso ellas mismas resultan un obstáculo para el progreso científico. Esto también ilustra que la postura que algunos biólogos adoptan en una controversia filosófica, posiblemente afecte su pensamiento en cuestiones científicas básicas. Por ejemplo, es más posible que los reduccionistas apoyen proyectos multimillonarios, tales como el Proyecto Genoma Humano y el proyecto Vida Artificial (fuerte), mientras que los biosistemistas saben que el primero no resolverá el misterio (o mejor dicho, el problema) de la naturaleza humana, y el segundo está condenado a fracasar, ya que intenta construir seres vivientes "en seco", es decir, evitando la química.

Dado que la filosofía puede prestar servicios a la biología y viceversa, es aconsejable cultivar ambas disciplinas juntas antes que en mutuo aislamiento. En particular, los biólogos deberían reunirse una vez cada tanto para discutir problemas biofilosóficos, y debería animarse a los estudiantes de biología a tomar cursos de filosofía de la biología. De modo similar, debería alentarse a más filósofos y estudiantes de filosofía a interesarse en la biología contemporánea para volverse capaces de ayudar a la investigación biológica en vez de entorpecerla. Hay que aclarar que sí existen tal interés y cooperación mutuos, pero demasiados biólogos siguen siendo entrenados como técnicos en vez de educados como académicos, y demasiados filósofos aún creen que la ciencia, y por lo tanto la biología, es apenas una manera más o una manera alternativa de mirar el mundo, o incluso que es totalmente irrelevante para la filosofía.

En suma, esperamos habernos batido por la causa de una relación íntima entre las ciencias de la vida y una filosofía racionalista, realista y materialista-emergentista; algo que requiere echar una mirada renovada a algunas ideas actualmente en boga en filosofía de la biología.

BIBLIOGRAFÍA

Agassi, J, Cohen, R.S. (eds.) (1982), *Scientific Philosophy Today. Essays in Honor of Mario Bunge*, Dordrecht, Reidel.

Alberch, P. (1982), Developmental constraints in evolutionary processes, en Bonner, J.T. (ed.), pp. 313-332.

Ampère, A.M. (1834-1843), *Essai sur la philosophie des sciences*, 2 vols., París, Bachelier.

Amundson, R. (1994), Two concepts of constraint: Adaptationism and the challenge from developmental biology, *Philosophy of Science* 61:556-578.

______ y Lauder, G.V. (1994), Function without purpose: The uses of causal role function in evolutionary biology, *Biology and Philosophy* 9: 443-469.

Andersen, N.M. (1995), Phylogeny and classification of aquatic bugs (Heteroptera, Nepomorpha). An essay review of Mahner's "Systema Cryptoceratorum Phylogeneticum", *Entomologica scandinavica* 26: 159-166.

Apter, M.J., Wolpert, L. (1965), Cybernetics and development. 1. Information theory, *Journal of Theoretical Biology* 8: 244-257.

Arnold, A.J., Fristrup, K. (1982), The theory of evolution by natural selection: A hierarchical expansion, en Brandon, R.N., Burian, R.M. (eds.) (1984), pp. 292-319.

Arnold, S.J. (1983), Morphology, performance and fitness, *American Zoologist* 23:347-361.

Aronson, L.R., Tobach, E., Lehrman, D.S., Rosenblatt, J.S. (eds.) (1970), Development and evolution of behavior, San Francisco, Freeman.

Asquith, P.D., Giere, R.N. (eds.) (1981), PSA 1980, vol. 2, *Philosophy of Science Association*, East Lansing.

Atkinson, J.W. (1992), Conceptual issues in the reunion of development and evolution, *Synthese* 91: 93-110.

Ax, P. (1984), *Das Phylogenetische System*, Stuttgart, Gustav Fischer (trad. ing. 1987, *The Phylogenetic System*, Chichester, Wiley).

______ (1985), Stem species and the stem lineage concept, *Cladistics* 1: 279-287.

______ (1988). *Systematik in der Biologie*, Suttgart, Gustav Fischer.

______ (1995), *Das System der Metazoa* 1, Stuttgart, Gustav Fischer.

Ayala, F.A. (1968), Biology as an autonomous science, *American Scientist* 56: 207-221.

______ (1970), Teleological explanations in evolutionary biology, *Philosophy of Science* 37: 1-15.

______ (1983), "Microevolution and macroevolution", en Bendall, D.S. (ed.), pp. 387-402.

______ y Dobzhansky, T. (eds.) (1974), *Studies in the Philosophy of Biology*, Berkeley, University of California Press.

Bartlett, M.S. (1975), *Probability, statistics and time*, Londres, Chapman and Hall.

Beatty, J. (1981) , What's wrong with the received view of evolutionary theory, en Asquith, P.D., Giere, R.N. (eds.), pp. 397-426.

______ (1982), Classes and cladists, *Systematic Zoology* 31: 25-34.

______ (1987), On behalf of the semantic view, *Biology and Philosophy* 2: 17-23.

______ y Finsen, S. (1989), Rethinking the propensity interpretation: A peek inside Pandora's box, en Ruse, M, (ed.), pp. 17-30.

Beaumont, J.G., Kenealy, P.M., Rogers, M.J.C. (1996), *The Blackwell Dictionary of Neuropsychology*, Cambridge, MA, Blackwell.

Bechtel, W. (ed.) (1986), *Integrating Scientific Disciplines*, Dordrecht, Martinus Nijhoff.

Beckner, M. (1959), *The Biological Way of Thought*, Nueva York, Columbia University Press.

______ (1964), Metaphysical presuppositions and the description of biological systems, en Gregg, J.R., Harris, F.T.C. (eds.), pp. 15-29.

______ (1974), Reduction, hierarchies and organicism, en Ayala, F.J., Dobzhansky, T. (eds.), pp. 163-176.

Bell, G. (1992), Five properties of environments, en Grant, P.R., Horn, H.S. (eds.), *Molds, Molecules, and Metazoa*, Princeton, Princeton University Press, pp. 33-56.

Bendall, D.S. (ed.) (1983), *Evolution from Molecules to Men*, Cambridge, Cambridge University Press.

Berlin, B. (1992), Ethnobiological classification. Principles of categorization of plants and animals in traditional societies, Princeton, Princeton University Press.

Bernier, R. (1984), The species as an individual. Facing essentialism, *Systematic Zoology* 33: 460-469.

Bernier, R., Pirlot, P. (1977), *Organe et fonction. Essai de biophilosophie*, París, St Hyacinthe, Maloine-Doin-Edisem.

Berry, S. (1995), Entropy, irreversibility and evolution, *Journal of Theoretical Biology* 175: 197-202.

Beyerstein, B.L. (1987), Neuroscience and Science, *Behavioral and Brain Sciences* 10: 571-572.

Bhaskar, R. (1978), *A Realist Theory of Science*, Hassocks, Harvester Press.

Bigelow, J., Pargetter, R. (1987), Functions, *Journal of Philosophy* 84: 181-196.

Bindra, D. (1976), *A Theory of Intelligent Behavior*, Nueva York, Wiley.

Birkhoff, G., Bartee, T.C. (1970), *Modern Applied Algebra*, Nueva York, McGraw-Hill.

Blackmore, S. (1986), Cellular ontogeny, *Cladistics* 2: 358-362.

Blitz, D. (1992), Emergent evolution. Qualitative novelty and the levels of reality, Dordrecht, Kluwer.

Block, N. (1980a), What is functionalism, en Block, N. (ed.), pp. 171-184.

______ (1980b), Troubles with functionalism, en Block, N. (ed.), pp. 268-305.

______ (ed.) (1980), *Readings in Philosophy of Psychology*, vol. 1, Cambridge, Harvard University Press,

Boag, P.T., Grant, P.R. (1981), Intense natural selection in a population of Darwin's finches (Geospizinae) in the Galapagos, *Science* 4: 82-85.

Bock, W.J. (1974), Philosophical foundations of classical evolutionary classification, *Systematic Zoology* 22: 375-392.

______ (1980), The definition and recognition of biological adaptation, *American Zoologist* 20: 217-227.

______ (1981), Functional-adaptive analysis in evolutionary classification, *American Zoologist* 21:5-20.

______ (1986), Species concepts, speciation, and macroevolution, en Iwatsuki, K., Raven, P.H., Bock, W.J. (eds.), *Modern Aspects of Species*, Tokio, University of Tokyo Press, pp. 31-57.

______ y von Wahlert, G. (1965), Adaptation and the form-function complex, *Evolution* 19: 269-299.

Bonner, J.T. (ed.) (1982), *Evolution and Development*, Berlín-Heidelberg-Nueva York, Springer.

Bonnet, C. (1762), Considerations sur les corps organisés, Amsterdam, Marc-Michel Rey.

Boorse, C. (1977), Health as a theoretical concept, *Philosophy of Science* 44: 542-573.

Boster, J. (1987), Agreement between biological classification systems is not dependent on cultural transmission, *American Anthropologist* 89:914-920.
Boyd, R. (1984), The current status of scientific realism, en Leplin, J. (ed.), pp. 41-82.
Bradie, M. (1991), The evolution of scientific lineages, en Fine, A., Forbes, M., Wessels, L. (eds), PSA 1990, vol. 2, Philosophy of Science Association, East Lansing, pp. 245-254.
_____ (1994a), Epistemology from an evolutionary point of view, en Sober, E. (ed.), pp. 453-475.
_____ (1994b), *The Secret Chain. Evolution and Ethics*, Albany, SUNY Press.
Bradie, M., Gromko, M. (1981), The status of the principle of natural selection, *Nature and System* 3: 3-12.
Brady, R.H. (1979), Natural selection and the criteria by which a theory is judged, *Systematic Zoology* 28: 600-621.
_____ (1982), Theoretical Issues and "Pattern Cladistics", *Systematic Zoology* 31: 286-291.
_____ (1985), On the Independence of Systematics, *Cladistics* 1:113-126.
Brandon, R.N. (1981), Biological teleology: Questions and explanations, *Studies in History and Philosophy of Science* 12: 91-105.
_____ (1990), *Adaptation and Environment*, Princeton, Princeton University Press.
_____ (1992), Environment, en Keller, E.F., Lloyd, E.A. (eds.), pp. 81-86.
_____ y Burian, R.M. (eds) (1984), *Genes, Organisms, Populations: Controversies over the Units of Selection*, Cambridge, MIT Press.
Brandon, R.N., Antonovics, J., Burian, R.M., Carson, S., Cooper, G., Davies, P.S., Horvath, C., Mishler, B.D., Richardson, R.C., Smith, K., Thrall, P. (1994), Sober on Brandon on screening-off and the levels of selection, *Philosophy of Science* 61: 475-486.
Bridgman, P.W. (1927), *The Logic of Modern Physics*, Nueva York, Macmillan.
Brière, C., Goodwin, B.C. (1988), Geometry and dynamics of tip morphogenesis in *Acetabularia*, *Journal of Theoretical Biology* 131: 461-475.
Brooks, D.R., Wiley, E.O. (1988), *Evolution as Entropy: Toward a Unified Theory of Biology*, Chicago, University of Chicago Press.
Brooks, D.R., Collier, J., Maurer, B., Smith, J.D.H., Wiley, E.O. (1989), Entropy and information in evolving biological systems, *Biology and Philosophy* 4: 407-432.
Buck, R.C., Hull, D.L. (1966), The logical structure of the Linnean hierarchy, *Systematic Zoology* 15: 97-111.
Bunge, M. (1959a), *Causality. The Place of the Causal Principle in Modern Science*, Cambridge, Harvard University Press [también 3a. ed. (1979), *Causality in Modern Science*, Nueva York, Dover Publications].
_____ (1959b), *Metascientific Queries*, Evanston, Charles C. Thomas.
_____ (1962), *Intuition and Science*, Englewood Cliffs, Prentice-Hall.,
_____ (1963), *The Myth of Simplicity*, Englewood Cliffs, Prentice-Hall.
_____ (1964), Phenomenological theories, en Bunge, M. (ed.), *The Critical Approach*, Nueva York, Free Press, pp. 234-254.
_____ (1967a), *Scientific Research I: The Search for System*, Berlín-Heidelberg-Nueva York, Springer.
_____ (1967b), *Scientific Research II: The Search for Truth*, Berlín-Heidelberg-Nueva York, Springer.
_____ (1967c), *Foundations of Physics*, Berlín-Heidelberg-Nueva York, Springer.
_____ (1969), Models in Theoretical Science. Proceedings of the XIVth International Congress of Philosophy Vienna 1968 3: 208-217.

______ (1971), A mathematical theory of the dimensions and units of physical quantities, en Bunge, M. (ed.), *Problems in the Foundations of Physics*, Berlín-Heidelberg-Nueva York, Springer, pp. 1-16.
______ (1973a), *Method, Model and Matter*, Dordrecht, Reidel.
______ (1973b), *Philosophy of Physics*, Dordrecht, Reidel.
______ (1973c), [artículo de] P. Suppes (1970), A probabilistic theory of causality, *British Journal for the Philosophy of Science* 24: 409-410.
______ (ed.) (1973), *The Methodological Unity of Science*, Dordrecht, Reidel.
______ (1974a), *Semantics I: Sense and Reference*, Dordrecht, Reidel.
______ (1974b), *Semantics II: Interpretation and Truth*, Dordrecht, Reidel.
______ (1974c), The relations of logic and semantics to ontology, *Journal of Philosophical Logic* 3:195-210
______ (1976), [artículo de] W. Stegmüllers, The structure and dynamics of theories, *Mathematical Reviews* 55: 333 (#2480).
______ (1977a), *Ontology I: The Furniture of the World*, Dordrecht, Reidel.
______ (1977b), Levels and reduction, *American Journal of Physiology* 233: R75-R82.
______ (1977c), The GST challenge to the classical philosophies of science, *International Journal of General Systems* 4: 29-37.
______ (1979a), *Ontology II: A World of Systems*, Dordrecht Reidel.
______ (1979b), Some topical problems in biophilosophy, *Journal of Social and Biological Structures* 2:155-172.
______ (1980), *The Mind-Body Problem*, Oxford, Pergamon Press.
______ (1981a), *Scientific Materialism*, Dordrecht, Reidel.
______ (1981b), Four concepts of probability, *Applied Mathematical Modelling* 5: 306-312.
______ (1981c), Biopopulations, not biospecies, are individuals and evolve, *Behavioral and Brain Sciences* 4: 284-285.
______ (1982), Is chemistry a branch of physics?, *Zeitschrift für allgemeine Wissenschaftstheorie* 13: 209-223.
______ (1983a), *Epistemology & Methodology I: Exploring the World*, Dordrecht, Reidel.
______ (1983b), *Epistemology & Methodology II: Understanding the World*, Dordrecht Reidel.
______ (1983c), *Epistemologie. Aktuelle Fragen der Wissenschaftstheorie*, Mannheim, Bibliographisches Institut.
______ (1983d), Speculation: Wild and sound, *New Ideas in Psychology* 1: 3-6.
______ (1985a), *Philosophy of Science and Technology. Part I: Formal and Physical Sciences*, Dordrecht, Reidel.
______ (1985b), *Philosophy of Science and Technology. Part II: Life Science, Social Science and Technology*, Dordrecht, Reidel.
______ (1987a), Two controversies in evolutionary biology: Saltationism and cladism, en Rescher, N. (ed.), *Scientific Inquiry in Philosophical Perspective*, Washington, University Press of America, pp. 129-146.
______ (1987b), Why parapsychology cannot become a science, *Behavioral and Brain Sciences* 10: 576-577.
______ (1988), Two faces and three masks of probability, en Agazzi, E. (ed.), *Probability in the Sciences*, Dordrecht, Kluwer, pp. 27-49.
______ (1989), Ethics - The good and the right, Dordrecht Reidel.
______ (1991a), The power and limits of reduction, en Agazzi, E. (ed.), *The Problem of Reductionism in Science*, Dordrecht, Kluwer, pp. 31-49.
______ (1991b), Five bridges between scientific disciplines, en Geyer, F. (ed.), *The Cyberne-*

tics of Complex Systems: Self-Organization, Evolution, and Social Change, Salinas, Intersystems Publications, pp. 1-10.
______ (1992), System boundary, *International Journal of General Systems* 20: 215-219.
______ (1993), Explaining creativity, en Brzezinski, J. *et al.* (eds.), *Creativity and Consciousness: Philosophical and Psychological Dimensions*, Amsterdam, Rodopi, pp. 299-304.
______ (1996) *Finding Philosophy in Social Science*, New Haven, Yale University Press [*Buscar la filosofía en las ciencias sociales*, México, Siglo XXI, 1999].
______ (1997) Moderate mathematical fictionism, en Agazzi, E., Darvas, G. (eds.), *Philosophy of Mathematics Today*, Dordrecht, Kluwer, pp. 51-71.
______ y Ardila, R. (1987), *Philosophy of Psychology*, Berlín-Heidelberg-Nueva York, Springer.
Burian, R.M. (1983), Adaptation, en Grene, M. (ed.), pp. 287-314.
______ (1986), On integrating the study of evolution and of development, en Bechtel, W. (ed.), pp. 209-228.
______ (1992), Adaptation - Historical perspectives, en Keller, E.F., Lloyd, E.A. (eds.), pp. 7-12.
Burns, T.P. (1992), Adaptedness, evolution and a hierarchical concept of fitness, *Journal of Theoretical Biology* 154: 219-237.
Byerly, H. (1986), Fitness as a function, en Fine, A., Machamer, P. (eds.), PSA 1986, vol. 1, pp. 494-501.
Byerly, H.C., Michod, R.E. (1991), Fitness and evolutionary explanation, *Biology and Philosophy* 6: 1-22.
Callicott, J.B. (1980), Animal liberation: A triangular affair, en Hargrove, E.C. (ed.) (1992), pp. 37-69.
______ (1988), Animal liberation and environmental ethics: Back together again, en Hargrove, E.C. (ed.) (1992). pp. 249-261.
Campbell, D.T. (1974), "Downward causation" in hierarchically organised biological systems, en Ayala, F.J., Dobzhansky, T. (eds.), pp. 179-186.
Canfield, J. (1964), Teleological Explanation in biology, *British Journal for the Philosophy of Science* 14: 285-295.
Caplan, A.L. (1978), Testability, disreputability, and the structure of the modern synthetic theory of evolution, *Erkenntnis* 13: 261-278.
______ (1981) Back to Class: A Note on the Ontology of Species. Philosophy of Science 48:130-140
______ y Bock, W.J. (1988), Haunt me no longer, *Biology and Philosophy* 3: 443-454.
Carison, E.A. (1966), *The Gene: A Critical History*, Filadelfia, Saunders.
Carnap, R. (1936-37), Testability and Meaning, *Philosophy of Science* 3: 419-471; 4:1-40
______ (1939), *Foundations of Logic and Mathematics. International Encyclopedia of Unified Science*, vol 1, núm. 3, Chicago, University of Chicago Press.
Carpenter, S.R., Chisholm, S.W., Krebs, C.J., Schindler, D.W., Wright, R.F. (1995), Ecosystem experiments, *Science* 269: 324-327.
Causey, R.L. (1977), *Unity of Science*, Dordrecht, Reidel.
Cavalieri, L.F., Koçak, H. (1995), Intermittent transition between order and chaos in an insect pest population, *Journal of Theoretical Biology* 175: 231-234.
Chang, C.C., Keisler, H.J. (1973), *Model Theory*, Amsterdam, North-Holland Publishing.
Charig, A.J. (1982), Systematics in biology: A fundamental comparison of some major schools of thought, en Joysey, K.A., Friday, A.E. (eds.), pp. 363-440.
Churchill, F.B. (1974), William Johannsen and the genotype concept, *Journal of the History of Biology* 7: 5-30.

Churchland, P., Hooker, C.A. (eds.) (1985), *Images of Science*, Chicago, University of Chicago Press.

Colless, D.H. (1985), On character and related terms, *Systematic Zoology* 34: 229-233.

Collier, J. (1988), Supervenience and reduction in biological hierarchies, en Matthen, M., Linsky, B. (eds.), pp. 209-234.

Colwell, R.K. (1992), Niche: A bifurcation in the conceptual lineage of the term, en Keller, E.F., Lloyd, E.A. (eds.), pp. 241-248.

Copi, I.M. (1968), *Introduction to Logic*, 3a. ed., Londres, Collier-Macmillan.

Costantino, R.F., Cushing, J.M., Dennis, B., Desbarnais, R.A. (1995), Experimentally induced transitions in the dynamic behaviour of insect populations, *Nature* 375: 227-230.

Cracraft, J. (1981), The use of functional and adaptive criteria in phylogenetic systematics, *American Zoologist* 21: 21-36.

______ (1987), Species concepts and the ontology of evolution, *Biology and Philosophy* 2: 329-346.

______ (1989), Species as entities of biological theory, en Ruse, M. (ed.), pp. 31-52.

______ (1990), The origin of evolutionary novelties: Pattern and process at different hierarchical levels, en Nitecki, M. (ed.), pp. 21-44.

______ y Eldredge, N. (eds.) (1979), *Phylogenetic Analysis and Paleontology*, Nueva York, Columbia University Press.

Craw, R. (1992), Margins of cladistics: Identity, difference and place in the emergence of phylogenetic systematics, 1864-1975, en Griffiths, P.E. (ed.), pp. 65-107.

Culp, S., Kitcher, P.(1989), Theory structure and theory change in contemporary molecular biology, *British Journal for the Philosophy of Science* 40: 459-483.

Cummins, R. (1975), Functional analysis, *Journal of Philosophy* 72: 741-764.

Damuth, J. (1985), Selection among "species": A formulation in terms of natural functional units, *Evolution* 39:1132-1146.

Damuth, J., Heisler, I.L. (1988), Alternative formulations of multilevel selection, *Biology and Philosophy* 3: 407-430.

Dancoff, S.M., Quastler, H. (1953), The information content and error rate of living things, en Quastler, H. (ed.), *Information Theory in Biology*, Urbana, University of Illinois Press, pp. 263-273.

Darden, L., Cain, J.A. (1989), Selection type theories, *Philosophy of Science* 56:106-129.

______ y Maull, N. (1977), Interfield theories, *Philosophy of Science* 44: 43-64.

Darwin, C. (1859), *On the Origin of Species*, Cambridge, Harvard University Press (1964).

Dawkins, R. (1976), *The Selfish Gene*, Nueva York, Oxford University Press.

______ (1982), *The Extended Phenotype. The Gene as the Unit of Selection*, Oxford, Freeman.

de Jong, G. (1994), The fitness of fitness concepts and the description of natural selection, *Quarterly Review of Biology* 69: 3-29.

Dennett, D.C. (1978), *Brainstorms: Philosophical Essays on Mind and Psychology*, Montgomery, Bradford Books.

______ (1995), *Darwin's Dangerous Idea*, Nueva York, Simon & Schuster.

de Queiroz, K. (1988), Systematics and the Darwinian revolution, *Philosophy of Science* 55: 238-259.

______ (1992), Phylogenetic definitions and taxonomic philosophy, *Biology and Philosophy* 7: 295-313.

______ (1994), Replacement of an essentialistic perspective on taxonomic definitions as exemplified by the definition of 'Mammalia', *Systematic Biology* 43: 497-510.

______ y Donoghue, M.J. (1988), Phylogenetic systematics and the species problem, *Cladistics* 4: 317-338.

de Queiroz, K., Gauthier, J. (1990), Phylogeny as a central principle in taxonomy: Phylogenetic definitions of taxon names, *Systematic Zoology* 39: 307-322.

______ (1992), Phylogenetic taxonomy, *Annual Review of Ecology and Systematics* 23: 449-480

Dobzhansky, T., Ayala, F.J., Stebbins, G.L., Valentine, J.W. (1977), *Evolution*, San Francisco, Freeman.

Dretske, F. (1977), Laws of nature, *Philosophy of Science* 44: 248-268.

______ (1978), The role of the percept in visual cognition, en Savage, C.W. (ed.), pp. 107-127.

Duhem, P. (1908), ΣΩΖΕΙΝ ΤΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ, *Essai sur la notion de Théorie physique de Platon à Galilée*, París, A. Hermann et Fus.

Dunbar, M.J. (1972), The ecosystem as unit of natural selection, en Deevey, E.S. (ed.), *Growth by Intussusception. Essays in Honor of G. Evelyn Hutchinson*, New Haven, Connecticut Academy of Arts and Sciences, pp. 113-130.

Dupré, J. (1981), Natural kinds and biological taxa, *Philosophical Review* 90: 66-90.

Dyson, F. (1985), *Origins of Life*, Cambridge, Cambridge University Press.

Earman, J., Salmon, W.C. (1992), The confirmation of scientific hypotheses, en Salmon, M.H. *et al.*, pp. 42-103.

Eigen, M., Gardiner, W., Schuster, P., Winckler-Oswatitsch, R. (1981), The origin of genetic information, *Scientific American* 244(4): 88-118.

Eldredge, N. (1979), Cladism and common sense, en Cracraft, J., Eldredge, N. (eds.), pp. 165-198.

______ (1985a), *Unfinished Synthesis. Biological Hierarchies and Modern Evolutionary Thought*, Nueva York, Oxford University Press.

______ (1985b), The ontology of species, en Vrba, E.S. (ed.), pp. 17-20.

Emmeche, C. (1992), Life as an abstract phenomenon: Is artificial life possible?, en Varela, F.J., Bourgine, P. (eds.), *Toward a Practice of Autonomous Systems. Proceedings of the First European Conference on Artificial Life*, Cambridge, MIT-PRESS, pp. 466-474.

Endler, J.A. (1986), *Natural Selection in the Wild*, Princeton, Princeton University Press.

Engelberg, J., Boyarsky, L.L. (1979), The noncybernetic nature of ecosystems, *American Naturalist* 114: 317-324.

Engels, E-M (1982), *Die Teleologie des Lebendigen*, Berlín, Duncker & Humblot.

Ereshefsky, M. (1988), Individuality and macroevolutionary theory, en Fine, A., Leplin, J. (eds.), PSA 1988, vol. 1, East Lansing, Philosophy of Science Association, pp. 216-222.

______ (1991), The semantic approach to evolutionary theory, *Biology and Philosophy* 6: 59-80.

______ (ed.) (1992), *The Units of Evolution. Essays on the Nature of Species*, Cambridge, MIT-Press.

______ (1994), Some problems with the Linnean hierarchy, *Philosophy of Science* 61:186-205.

Fernholm, B., Bremer, K., Jörnvall, H. (eds.) (1989), *The Hierarchy of Life. Molecules and Morphology in Phylogenetic Analysis*, Amsterdam, Elsevier.

Feyerabend, P.K. (1981), *Philosophical Papers*, 2 vols., Cambridge, Cambridge University Press.

Fodor, J.A. (1981), The mind-body problem, *Scientific American* 244(1): 114-123.

Fox, S.W. (1984), Proteinoid experiments and e olutionary theory, en Ho M-W, Saunders PT (eds.), pp. 15-60.

Fristrup, K. (1992), Character: Current usages, en Keller, E.F., Lloyd, E.A. (eds.), pp. 45-51.

Futuyma, D.J. (1986), *Evolutionary Biology*, Sunderland, Sinauer.

Gaffney, E.S. (1979), An introduction to the logic of phylogeny reconstruction, en Cracraft, J., Eldredge, E. (eds.), pp. 79-111.

Gardiner, B.G. (1993), Haematothermia: Warm-blooded amniotes, *Cladistics* 9: 369-395.

Gardner, M. (1989), Gaiaism, *Skeptical Inquirer* 13: 252-256.

Gasper, P. (1992), Reduction and instrumentalism in genetics, *Philosophy of Science* 59: 655-670.

Gayon, J. (1996), The individuality of the species: A Darwinian theory? - from Buffon to Ghiselin, and back to Darwin, *Biology and Philosophy* 11: 215-244.

Ghiselin, M.T. (1966), On psychologism in the logic of taxonomic controversies, *Systematic Zoology* 15: 207-215.

______ (1974), A radical solution to the species problem, *Systematic Zoology* 23: 536-544.

______ (1981), Categories, life, and thinking, *Behavioral and Brain Sciences* 4: 269-283.

______ (1984), "Definition", "character" and other equivocal terms, *Systematic Zoology* 33: 104-110.

Giere, R.N. (1984), *Understanding Scientific Reasoning*, Nueva York, Holt, Rinehart and Winston.

______ (1985), Constructive realism, en Churchland, P., Hooker, C.A. (eds.), pp. 75-98.

Gifford, F. (1990), Genetic traits, *Biology and Philosophy* 5: 327-347.

Gilbert, S.F. (1988), *Developmental Biology*, Sunderland, Sinauer [también 4a. ed. (1994)].

Gliddon, C.J., Gouyon, P-H (1989), The units of selection, *Trends in Ecology and Evolution* 4: 204-208.

Godfrey-Smith, P., Lewontin, R.C. (1993), The dimensions of selection, *Philosophy of Science* 60: 373-395.

Goodman, M. (1989), Emerging alliance of phylogenetic systematics and molecular biology: A new age of exploration, en Fernholm, B. *et al.* (eds.), pp. 43-61.

Goodwin, B.C. (1982a), Genetic epistemology and constructionist biology, *Revue Internationale de Philosophie* 36: 527-548.

______ (1982b), Development and evolution, *Journal of Theoretical Biology* 97: 43-55.

______ (1984), A relational or field theory of reproduction and its evolutionary implications, en Ho M-W, Saunders, P.T. (eds.), pp. 219-241.

______ (1990), Structuralism in biology, *Science Progress* 74: 227-243.

______ (1994), *How the Leopard Changed its Spots. The Evolution of Complexity*, Nueva York, Charles Scribner's Sons.

______ y Trainor, L.E.H. (1980), A field description of the cleavage process in embryogenesis, *Journal of Theoretical Biology* 86: 757-770.

______ (1985), Tip and whorl morphogenesis in *Acetabularia* by calcium regulated strain fields, *Journal of Theoretical Biology* 117: 79-106.

Goodwin, B.C., Holder, N., Wylie, C.C. (eds.) (1983), *Development and Evolution*, Cambridge, Cambridge University Press.

Gottlieb, G. (1970), Conceptions of prenatal behavior, en Aronson, L.R. *et al.* (eds.), pp. 111-137.

______ (1991), Experiential canalization of behavioral development: Theory, *Developmental Psychology* 27: 4-13.

Goudge, T.A. (1961), *The Ascent of Life*, Toronto, University of Toronto Press.

Gould, S.J. (1977), *Ontogeny and Phylogeny*, Cambridge, Belknap Press.

______ (1980), Is a new and general theory of evolution emerging?, *Paleobiology* 6: 119-130.

______ (1989), A developmental constraint in *Cerion*, with comments on the definition and

interpretation of constraint in evolution, *Evolution* 43: 516-539.
______ (1997), Cope's rule as a psychological artefact, *Nature* 385:199-200.
______ y Lewontin, R.C. (1979), The spandrels of San Marco and the Panglossian paradigm: A critique of the adaptationist programme, en Sober, E. (ed.) (1994), pp. 73-90.
______ y Vrba, E.S. (1982), Exaptation - A missing term in the science of form, *Paleobiology* 8: 4-15.
Grant, P. (1978), *Biology of Developing Systems*, Nueva York, Holt, Rinehart and Winston.
Grant, V. (1994), Evolution of the species concept, *Biologisches Zentralblatt* 113: 401-415.
Gray, R. (1992), Death of the gene: Developmental systems strike back, en Griffiths, P.E. (ed.), pp. 165-209.
Gregg, J.R. (1950), Taxonomy, language, and reality, *American Naturalist* 84: 419-435.
______ (1954), *The Language of Taxonomy*, Nueva York, Columbia University Press.
______ (1968), Buck and hull: A critical rejoinder, *Systematic Zoology* 17: 342-344.
______ y Harris, F.T.C. (eds.) (1964), *Form and Strategy in Science*, Dordrecht, Reidel.
Grene, M. (ed.) (1983), *Dimensions of Darwinism. Themes and Counterthemes in Twentieth-Century Evolutionary Biology*, Cambridge, Cambridge University Press.
______ (1987), Hierarchies in biology, *American Scientist* 75: 504-510.
Griesemer, J.R. (1992), Niche: Historical perspectives, en Keller, E.F., Lloyd, E.A. (eds.), pp. 231-240.
Griffiths, G.C.D. (1974), On the foundations of biological systematics, *Acta Biotheoretica* 23: 85-131.
Griffiths, P.E. (ed.) (1992), *Trees of Life: Essays in the Philosophy of Biology*, Dordrecht, Kluwer.
______ (1993), Functional analysis and proper functions, *British Journal for the Philosophy of Science* 44: 409-422.
______ y Gray, R.D. (1994), Developmental systems and evolutionary explanation, *Journal of Philosophy* 91: 277-304.
Grobstein, C. (1962), Levels and ontogeny, *American Scientist* 50: 46-58.
Günther, K. (1950), Ökologische und funktionelle Anmerkungen zur Frage des Nahrungserwerbs bei Tiefseefischen mit einem Exkurs über die ökologischen Zonen und Nischen, en Grüneberg, H., Ulrich, W. (eds.), *Moderne Biologie. Festschrift zum 60. Geburtstag von Hans Nachtsheim*, Berlín, F.W. Peters, pp. 55-93.
Gurdon, J.B., Harger, P., Mitchell, A., Lemaire, P. (1994), Activin signalling and response to a morphogen gradient, *Nature* 371: 487-492.
Gutmann, W.F. (1995), Evolution von lebendigen Konstruktionen. Warum Erkenntnis unerträglich sein kann, *Ethik und Sozialwissenschaften* 6: 303-315.
Guyot, K. (1986), Specious individuals, *Philosophica* 37:101-126.
Hacking, I.(1985), Do we see through a microscope?, en Churchland, P., Hooker, C.A. (eds.), pp. 132-152.
______ (1991), A tradition of natural kinds, *Philosophical Studies* 61:109-126.
Haeckel, E. (1866), *Generelle Morphologie der Organismen*, Berlín, Walter de Grayter (1988).
Hagen, J.B. (1989), Research perspectives and the anomalous state of modern ecology, *Biology and Philosophy* 4: 433-455.
Haldane, J.B.S. (1929), Heredity, en *Encyclopaedia Britannica*, 14a. ed., vol. 11, Londres, Encyclopaedia Britannica Company, pp. 484-496.
Hall, B.K. (1992), *Evolutionary Developmental Biology*, Londres, Chapman & Hall.
Hargrove, E.C. (ed.) (1992), *The Animal Rights/Environmental Ethics Debate*, Albany, SUNY Press.

Harré, R. (1986), *Varieties of Realism*, Oxford, Basil Blackwell.

Hartmann, M. (1965), *Einführung in die allgemeine Biologie und ihre philosophischen Grund- und Grenzfragen*, Berlín, Walter de Gruyter.

Hassenstein, B. (1981), Biologische Teleonomie, *Neue Hefte für Philosophie* 20: 60-71.

Hebb, D.O. (1949), *The Organization of Behavior*, Nueva York, Wiley.

______ (1966), *A Textbook of Psychology*, Filadelfia, Saunders.

______ (1980), *Essay on Mind*, Hillsdale, Erlbaum.

Heise, H. (1981), Universals, particulars, and paradigms, *Behavioral and Brain Sciences* 4: 289-290.

Hempel, C.G. (1965), *Aspects of Scientific Explanation*, Nueva York, The Free Press; Londres, Collier-Macmillan.

______ y Oppenheim, P. (1948), Studies in the logic of explanation, *Philosophy of Science* 15:135-175.

Hennig, W. (1966), *Phylogenetic Systematics*, Urbana, University of Illinois Press.

Hess, B., Mikhailov, A. (1994), Self-organization in living cells, *Science* 264: 223-224.

Hilbert, D. (1918), Axiomatisches Denken, *Mathematische Annalen* 78: 405-415.

______ y Bernays, P. (1934), *Grundlagen der Mathematik*, 2 vols., Berlín-Heidelberg-Nueva York, Springer (1968).

Hill, C.R., Crane, P.R. (1982), Evolutionary cladistics and angiosperms, en Joysey, K.A., Friday, A.E. (eds.), pp. 269-362.

Hillis, D.M. (1987), Molecular versus morphological approaches to systematics, *Annual Review of Ecology and Systematics* 18: 23-42.

______ y Moritz, C. (1990), An overview of applications of molecular systematics, en Hillis, D.M., Moritz, C. (eds.), pp. 502-515.

______ (eds.) (1990), *Molecular Systematics*, Sunderland, Sinauer.

Ho, M.W., Fox, S.W. (1988), Processes and metaphors in evolution, en Ho, M.W., Fox, S.W. (eds.), pp. 1-16.

______ (eds.) (1988), *Evolutionary Processes and Metaphors*, Chichester, Wiley.

Ho, M.W., Saunders, P.T. (1979), Beyond neo-Darwinism - An epigenetic approach to evolution, *Journal of Theoretical Biology* 78: 573-591.

______ (1993), Rational taxonomy and the natural system with particular reference to segmentation, *Acta Biotheoretica* 41: 289-304.

______ (eds.) (1984), *Beyond Neo-Darwinism*, Londres, Academic Press.

Hooker, C.A. (1978), An evolutionary naturalist realist doctrine of perception and secondary qualities, en Savage, C.W. (ed.), pp. 405-440.

______ (1987), A naturalist realism, *Revue Internationale de Philosophie* 41: 5-28.

Horan, B.L. (1994), The statistical character of evolutionary theory, *Philosophy of Science* 61: 76-95.

Horder, T.J. (1983), Embryological bases of evolution, en Goodwin, B.C. *et al.* (eds), pp. 315-352.

______ (1989), Syllabus for an embryological synthesis, en Wake, D.R., Roth, G. (eds.), *Complex Organismal Functions: Integration and Evolution in Vertebrates*, Chichester, Wiley, pp. 315-348.

Hoyningen-Huene, P., Wuketits, F.M. (eds.) (1989), *Reductionism and Systems Theory in the Life Sciences*, Dordrecht, Kluwer.

Hubbard, R., Wald, E. (1993), *Exploding the Gene Myth*, Boston, Beacon Press.

Hull, D.L. (1965), The effect of essentialism on taxonomy - Two thousand years of stasis, *British Journal for the Philosophy of Science* 15: 314-326; 16:1-18.

______ (1968), The operationalist imperative. Sense and non-sense in operationalism, *Systematic Zoology* 17: 432-459.
______ (1970), Contemporary systematic philosophies, *Annual Review of Ecology and Systematics* 1:19-54.
______ (1974), *Philosophy of Biological Science*, Englewood Cliffs, Prentice Hall.
______ (1976), Are species really individuals?, *Systematic Zoology* 25:174-191.
______ (1978), A matter of individuality, en Sober, E. (ed.) (1994), pp. 193-215.
______ (1979), The limits of cladism, *Systematic Zoology* 28: 416-440.
______ (1980), Individuality and selection, *Annual Review of Ecology and Systematics* 11: 311-332.
______ (1987), Genealogical actors in ecological roles, *Biology and Philosophy* 2: 168-184.
______ (1988), *Science as a Process*, Chicago, University of Chicago Press.
______ (1989), *The Metaphysics of Evolution*, Albany, SUNY Press.
Hume, D. (1739-1740), A treatise of human nature, en Selby-Bigge, L.A. (ed.), Oxford, Clarendon Press (1888).
Hurlbert, S.H. (1981), A gentle depilation of the niche. Dicean resource sets in resource hyperspace, *Evolutionary Theory* 5: 177-184.
Hutchinson, G.E. (1957), Concluding remarks, *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology* 22: 415-427.
Jahn, I. (1990), *Grundzüge der Biologiegeschichte*, Jena, Gustav Fischer.
Janzen, D.H. (1977), What are dandelions and aphids?, *American Naturalist* 111: 586-589.
Jeuken, M. (1975), The biological and philosophical definitions of life, *Acta Biotheoretica* 24:14-21
Johannsen, W.L. (1913), *Elemente der exakten Erblichkeitslehre*, Jena, Gustav Fischer [también 3a. ed. (1926)].
Johnston, T., Gottlieb, G. (1990), Neophenogenesis: A developmental theory of phenotypic evolution, *Journal of Theoretical Biology* 147: 471-495.
Jonckers, L.H.M. (1973), The concept of population in biology, *Acta Biotheoretica* 22: 78-108.
Jongeling, T.B. (1985), On an axiomatization of evolutionary theory, *Journal of Theoretical Biology* 117: 529-543.
Jordan, C.F. (1981), Do ecosystems exist? *American Naturalist* 118: 284-287.
Joysey, K.A., Friday, A.E. (eds.) (1982), *Problems of Phylogenetic Reconstruction*, Londres, Academic Press.
Kanitscheider, B. (1989), Realism from a biological point of view, *Dialectica* 43: 141-156.
Kant, I. (1787), *Kritik der reinen Vernunft*, Hamburgo, Felix Meiner (1952).
______ (1790), Kritik der Urteilskraft, en Königlich Preussische Akademie der Wissenschaften (ed.) (1908), *Kant's gesammelte Schriften*, vol. 5, Berlín, Georg Reimer.
Kary, M. (1990), Information theory and the treatise: Towards a new understanding, en Weingartner, P., Dorn, G.J.W. (eds.), pp. 263-280.
Katz, M.J. (1982), Ontogenetic mechanisms: The middle ground of evolution, en Bonner, J.T. (ed.), pp. 207-212.
Kauffman, S.A. (1985), New questions in genetics and evolution, *Cladistics* 1: 247-265.
Kauffman, S.A. (1993), *The Origins of Order. Self-Organization and Selection in Evolution*, Nueva York, Oxford University Press.
Keller, E.F., Lloyd, E.A. (eds.) (1992), *Keywords in Evolutionary Biology*, Cambridge, Harvard University Press.
Keosian, J. (1974), Life's beginnings - Origin or evolution?, *Origins of Life* 5: 285-293.

Kim, J (1978), Supervenience and nomological incommensurables, *American Philosophical Quarterly* 15:149-156.

Kitcher, P. (1984a), Species, *Philosophy of Science* 51: 308-333.

______ (1984b) 1953 and All That: A Tale of Two Sciences, en Sober, E. (ed.) (1994), pp. 379-399

______ (1987), Ghostly whispers: Mayr, Ghiselin, and the "philosophers" on the ontological status of species, *Biology and Philosophy* 2:184-192.

______ (1989a), Some puzzles about species, en Ruse, M. (ed.), pp. 183-208,

______ (1989b), Explanatory unification and the causal structure of the world, en Kitcher, P., Salmon, W.C. (ed.), pp. 410-506.

______ (1992), Gene: Current usages, en Keller, E.F., Lloyd, E.A. (eds,). pp. 128-131.

______ y Salmon, W.C. (eds.) (1989), *Minnesota Studies in the Philosophy of Science*, vol. 13: *Scientific Explanation*, Minneapolis, University of Minnesota Press.

Kitts, D.B., Kitts, D.J. (1979), Biological species as natural kinds, *Philosophy of Science* 46: 613-622.

Kosslyn, S.M., Koenig, O. (1995), *Wet Mind: The New Cognitive Neuroscience*, Nueva York, Free Press.

Kovac, D., Maschwitz, U. (1989), Secretion-grooming in the water bug *Plea minutissima:* A chemical defence against microorganisms interfering with the hydrofuge properties of the respiratory region, *Ecological Entomology* 14: 403-411.

Kump, L.R. (1996), The physiology of the planet, *Nature* 381:111-112.

Küppers, B-O (1979), Towards an experimental analysis of molecular self-organization and precellular Darwinian evolution, *Naturwissenschaften* 66: 228-243.

Lander, E.S., Schork, N.J. (1994), Genetic dissection of complex traits, *Science* 265: 2037-2048.

Lang, H.S. (1983), Aristotle and Darwin. The problem of species, *International Philosophical Quarterly* 23:141-153.

Lange, M. (1995), Are there natural laws concerning particular biological species?, *Journal of Philosophy* 92: 430-451.

Langton, C.G. (1989), Artificial life, en Langton, C.G. (ed.), pp. 1-47.

______ (ed) (1989), *Artificial Life*, Redwood City, Addison-Wesley.

______ (1991), Introduction, en Langton, C.G. *et al.* (eds.), pp. 3-23.

______ y Taylor, C., Farmer, J.D., Rasmussen, S. (eds.) (1991), *Artificial Life II*, Redwood City, AddisonWesley.

Lauder, G.V. (1982), Historical biology and the problem of design, *Journal of Theoretical Biology* 97: 57-67.

Lawton, J.H. (1995), Ecological experiments with model systems, *Science* 269: 328-331.

Lazarsfeld, P.F., Menzel, H. (1961), On the relation between individual and collective properties, en Etzioni, A. (ed.), *Complex Organizations: A Sociological Reader*, Nueva York, Holt, Rinehart & Winston, pp. 422-440.

Lehrman, D.S. (1970), Semantic and conceptual issues in the nature-nurture problem, en Aronson, L.R. *et al.* (eds), pp. 17-52.

Leibniz, G.W. (1704), *Nouveaux essais sur l'entendement humain* [*New Essays on Human Understanding*], Cambridge, Cambridge University Press (1981).

Lenartowicz, P. (1975), *Phenotype-Genotype Dichotomy. An Essay in Theoretical Biology*, Roma, Typis Pontificiae Universitatis Gregorianae.

Lenin, V.I. (1908), *Materialism and Empirio-Criticism*, Londres, Lawrence and Wisehart, (1950) [*Materialismo y empiriocriticismo*, Madrid, Akal].

Lennox, J.G. (1991), Commentary on Byerly and Michod, *Biology and Philosophy* 6: 33-37
______ (1992a) Teleology, en Keller, E.F., Lloyd, E.A. (eds.), pp. 324-333.
______ (1992b), Philosophy of biology, en M.H. Salmon *et al.*, pp. 269-309.
Lenoir, T. (1982), *The Strategy of Life. Teleology and Mechanics in Nineteenth Century German Biology*, Dordrecht, Reidel.
Leplin, J. (ed.) (1984), *Scientific Realism*, Berkeley, University of California Press.
Leroux, N. (1993), *What are Biological Species? The Impact of the Debate in Taxonomy on the Species Problem*, tesis, Department of Philosophy, Montreal, McGill University.
Levine, L. (1993), GAIA: Goddess and idea. *RioSystems* 31: 85-92.
Levins, R., Lewontin, R.C. (1982), Dialectics and reductionism in ecology, en Saarinen, E. (ed.), pp. 107-138.
______ (1985), *The Dialectical Biologist*, Cambridge, Harvard University Press.
Lewes, G.H. (1879), *Problems of Life and Mind*, Londres, Trubner.
Lewis, R.W. (1980), Evolution: A system of theories, *Perspectives in Biology and Medicine* 23: 551-572,
Lewontin, R.C. (1970), The units of selection, *Annual Review of Ecology and Systematics* 1:1-18.
______ (1974), *The Genetic Basis of Evolutionary Change*, Nueva York, Columbia University Press.
______ (1978), *Adaptation. Scientific American* 239(3): 212-232.
______ (1983a), The organism as the subject and object of evolution, *Scientia* 118: 65-82.
______ (1983b), Gene, Organism and environment, en Bendall, D.S. (ed.), pp. 273-285.
______ (1984), Laws of biology and laws in social science, en Keyfitz, N. (ed.), *Population and Biology*, Liège, Ordina Editions, pp. 19-28.
______ (1991), *Biology as Ideology. The Doctrine of DNA*,Concord, Anansi.
______ (1992a), The dream of the human genome, *Nueva York Review of Books* 39(10): 31-40.
______ (1992b), Genotype and phenotype, en Keller, E.F., Lloyd, E.A. (eds.), pp. 137-144.
Linsky, B., Zalta, E.N. (1995), Naturalized Platonism versus Platonized naturalism, *Journal of Philosophy* 92: 525-555.
Lloyd, E.A. (1988), *The Structure and Confirmation of Evolutionary Theory*, Nueva York, Greenwood Press.
______ (1992), Unit of selection, en Keller, E.F., Lloyd, E.A. (eds.). pp. 334-340.
Loehle, C. (1988), Philosophical tools: Potential contributions to ecology, *Oikos* 51: 97-104.
Löther, R. (1972), *Die Beherrschung der Mannigfaltigkeit. Philosophische Grundlagen der Taxonomie*, Jena, Gustav Fischer.
Løvtrup, S. (1973), Classification, convention, and logic, *Zoologica Scripta* 2: 49-61.
______ (1974), *Epigenetics. A Treatise on Tneoretical Biology*, Londres, Wiley.
______ (1987), On species and other taxa, *Cladistics* 3:157-177.
Lowe, E.J. (1995), The metaphysics of abstract objects, *Journal of Philosophy* 92: 509-524
Lwoff, A. (1962), *Biological Order*, Cambridge, MIT-Press.
MacMahon, J.A., Phillips, D.L., Robinson, J.V., Schimpf, D.J. (1978), Levels of biological organization: An organism-centered approach, *Bioscience* 28: 700-704.
MacMahon, J.A., Schimpf, D.J., Andersen, D.C., Smith, K.G., Bayn, R.L. (1981), An organism-centered approach to some community and ecosystem concepts, *Journal of Theoretical Biology* 88: 287-307.
Mahner, M. (1986), *Kreationismus - Inhalt und Struktur antievolutionistischer Argumentation*, Berlín, Pädagogisches Zentrum.

_____ (1989), Warum eine Schöpfungstheorie nicht wissenschaftlich sein kann. Praxis der Naturwissenschaften - *Biologie* 38(8): 33-36.
_____ (1993a) What is a species? A contribution to the never ending species debate in biology, *Journal for General Philosophy of Science* 24:103-126.
_____ (1993b), Systema Cryptoceratorum Phylogeneticum (Insecta, Heteroptera), E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart (*Zoologica* vol. 143).
_____ (1994a), Phänomenalistische Erblast in der Biologie. *Biologisches Zentralblatt* 113: 435-448 [próxima versión en inglés modificada: Operationalist Fallacies in Biology, *Science & Education*].
_____ (1994b), Anmerkungen zu Ernst Mayrs "Evolution - Grundfragen und Missverständnisse", *Ethik und Sozialwissenschaften* 5: 234-237.
_____ (1995), Hydraulischer *Dies irae* in Frankfurt, *Ethik und Sozialwissenschaften* 6: 336-339.
_____ y Bunge, M. (1996), Is religious education compatible with science education? *Science & Education* 5:101-123, 189-199.
Mahner, M., Kary, M. (1997), What exactly are genomes, genotypes and phenotypes? And what about phenomes?, *Journal of theoretical Biology* (en prensa).
Marquis, J.P. (1990), Partial truths about partial truth, en Weingartner, P., Dorn, G.J.W. (eds.), pp. 61-78.
Maschwitz, U. (1971), Wasserstoffperoxid als Antiseptikum bei einer Wasserwanze, *Naturwissenschaften* 58: 572.
Matthen, M., Linsky, B. (eds.) (1988), *Philosophy & Biology*, Calgary, University of Calgary Press.
May, R.M. (1974), Biological populations with nonoverlapping generations: Stable points, stable cycles, and chaos, *Science* 186: 645-647
Maynard Smith, J. (1983), Evolution and development, en Goodwin, B.C. *et al.* (eds.), pp. 33-45.
_____ (1984), Group selection, en Brandon, R.N., Burian, R.M. (eds.), pp. 238-249.
_____ (1986), *The Problems of Biology*, Oxford, Oxford University Press.
_____ (1995), Genes, memes, and minds, *Nueva York Review of Books* 42(19): 46-48.
_____ y Burian, R.M., Kauffman, S., Alberch, P., Campbell, J., Goodwin, B.C., Lande, R., Raup, D., Wolpert, L. (1985), Developmental constraints and evolution, *Quarterly Review of Biology* 60: 265-287.
Mayo, D.G., Gilinsky, N.L. (1987), Models of Group Selection, *Philosophy of Science* 54: 515-538.
Mayr, E. (1960), The emergence of evolutionary novelties, en Tax, S. (ed.), *Evolution After Darwin*, vol. 1, *The Evolution of Life*, Chicago, University of Chicago Press, pp. 349-380.
_____ (1963), *Animal Species and Evolution*, Cambridge, Harvard University Press.
_____ (1974), Cladistic analysis or cladistic classification?, *Zeitschrift für zoologische Systematik und Evolutionsforschung* 12: 94-128.
_____ (1982), *The Growth of Biological Thought*, Cambridge, Harvard University Press.
_____ (1988), *Towards a New Philosophy of Biology*, Cambridge, Harvard University Press.
_____ (1989), Attaching names to objects, en Ruse, M. (ed.), pp. 235-243.
_____ (1994), Evolution Grundfragen und Missverständnisse, *Ethik und Sozialwissenschaften* 5: 203-209.
_____ (1995), Systems of ordering data, *Biology and Philosophy* 10: 419-434.
_____ (1996), The autonomy of biology: The position of biology among the sciences, *Quarterly Review of Biology* 71: 97-106.

Mayr, E., Ashlock, P.D. (1991), *Principies of Systematic Zoology*, Nueva York, McGraw Hill.

McClamrock, R. (1995), Screening-off and the levels of selection, *Erkenntnis* 42:107-112.

McIntosh, R.P. (1982), The background and some current problems of theoretical ecology, en Saarinen, E. (ed.), pp. 1-61.

______ (1995), H.A. Gleason's 'individualistic concept' and theory of animal communities: A continuing controversy, *Biological Reviews* 70: 317-357.

McKinsey, JC.C., Sugar, A.C., Suppes, P. (1953), Axiomatic foundations of classical particle mechanics, *Journal of Rational Mechanics and Analysis* 2: 253-289.

Merton, R.K. (1973), *The Sociology of Science. Theoretical and Empirical Investigations*, Chicago, University of Chicago Press.

Mertz, D.R., McCauley, D.E. (1982), The domain of laboratory ecology, en Saarinen, E. (ed.), pp. 229-244.

Mill, J.S, (1875), *A System of Logic*, 8a. ed., Londres, Longmans, Green, (1952).

Millikan, R. (1989), In defense of proper functions, *Philosophy of Science* 56: 288-302.

Mills, S.K., J. Beatty, J .(1979), The propensity interpretation of fitness, *Philosophy of Science* 46: 263-286.

Minshall, G.W., Petersen, R.C., Nimz, C.F. (1985), Species richness in streams of different size from the same drainage basin, *American Naturalist* 125:16-38.

Mitcham, C. (1994), *Thinking Through Technology*, Chicago, University of Chicago Press.

Mohr, H. (1981), *Biologische Erkenntnis*, Stuttgart, Teubner.

Monod, J. (1971), *Chance and Necessity*, Nueva York, Knopf.

Montagu, W.P. (1925), *The Ways of Knowing*, Londres, Allen & Unwin.

Moritz, C., Hillis, D.M. (1990), Molecular systematics: Context and controversies, en Hillis, D.M., Moritz, C. (eds.), pp. 1-10.

Moss, L. (1992), A kernel of truth? On the reality of the genetic program, en Hull, D.L., Forbes, M., Okruhlik, K. (eds.), PSA, 1992, vol. 1, pp 335-348.

Müller, G.B. (1990), Developmental mechanisms at the origin of morphological novelty. A side-effect hypothesis, en Nitecki, M. (ed.), pp. 99-130.

______ y Wagner, G.P. (1991), Novelty in evolution: Restructuring the concept, *Annual Review of Ecology and Systematics* 22: 229-256.

Munson, R. (1971), Biological adaptation, *Philosophy of Science* 38: 200-215.

Nagel, E. (1956), *Logic Without Metaphysics*, Glencoe, Free Press.

______ (1961), *The Structure of Science*, Nueva York, Harcourt, Brace and World.

______ (1977), Teleology revisited, *Journal of Philosophy* 74: 261-301.

National Institutes of Health (1990), The US Human Genome Project - The first five years: Fiscal years 1991-1995. NIH Publication No 90-1590.

Naylor, G.J.P. (1992), The phylogenetic relationships among requiem and hammerhead sharks: Inferring phylogeny when thousands of equally most parsimonious trees result, *Cladistics* 8: 295-318.

Neander, K. (1991), Functions as selected effects: The conceptual analysisit's defense, *Philosophy of Science* 58:168-184.

Nelson, G.J. (1970), Outline of a theory of comparative biology, *Systematic Zoology* 19: 373-384.

______ (1983), Reticulation in cladograms, en Platnick, N.I., Funk, V.A. (eds.), *Advances in cladistics*, vol 2, Nueva York, Columbia University Press, pp. 105-111.

______ (1989), Cladistics and evolutionary models, *Cladistics* 5: 275-289.

______ y Platnick, N.I. (1981), *Systematics and Biogeography. Cladistics and Vicariance*, Nueva York, Columbia University Press.

Nitecki, M. (ed.) (1990), *Evolutionary Innovations*, Chicago, University of Chicago Press.

Novikoff, A.B. (1945), The concept of integrative levels and biology, *Science* 101: 209-215.

Odell, G.M., Oster, G., Alberch, P., Burnside, B. (1981), The mechanical basis of morphogenesis. 1. Epithelial folding and invagination, *Developmental Biology* 85: 446-462.

Odum, E.P. (1971), *Fundamentals of Ecology*, Filadelfia, Saunders.

Olding, A. (1978), A defence of evolutionary laws, *British Journal for the Philosophy of Science* 29:131-143.

Osche, G. (1972), *Evolution*, Friburgo, Herder.

Oyama, S. (1985), *The Ontogeny of Information*, Cambridge, Cambridge University Press.

______ (1988), Stasis, development and heredity, en Ho, M.-W., Fox, S.W. (eds.), pp. 255-274.

Patel, N.H. (1994), Developmental evolution: Insights from studies of insect segmentation, *Science* 266: 581-590.

Paterson, H.E.H. (1985), The recognition concept of species, en Vrba, E.S. (ed.), pp. 21-29.

Pattee, H.H. (1989), Simulations, realizations, and theories of life, en Langton, C.G. (ed.), pp. 63-77.

Patterson, C. (1982), Morphological characters and homology, en Joysey, K.A., Friday, A.E. (eds.), pp. 21-74.

______ (ed.) (1987), *Molecules and Morphology in Evolution: Conflict or Compromise?*, Cambridge, Cambridge University Press.

Peano, G. (1921), La definizioni in matematica, *Periodico di matematiche* 1:175-189.

Peirce, C.S. (1892-93), Scientific metaphysics, vol. VI, en Hartshorne, C., Weiss, P. (eds.), *Collected Papers*, Cambridge, Harvard University Press (1935).

Peters, R.H. (1991), *A Critique for Ecology*, Cambridge, Cambridge University Press.

Petersen, A.F. (1983), On downward causation in biological and behavioural systems, *History and Philosophy of the Life Sciences* 5: 69-86.

Pirlot, P., Bernier, R. (1973), Preliminary remarks on the organ-function relation, en Bunge, M. (ed.) (1973), pp 71-83.

Pittendrigh, C.S. (1958), Adaptation, natural selection, and behavior, en Roe, A., Simpson, G.G. (eds.), *Behavior and Evolution*, New Haven, Yale University Press, pp. 390-416.

Platnick, N.I. (1977), Cladograms, phylogenetic trees, and hypothesis testing, *Systematic Zoology* 26: 438-442.

______ (1979), Philosophy and the transformation of cladistics, *Systematic Zoology* 28: 537-546.

______ (1985), Philosophy and the transformation of cladistics revisited, *Cladistics* 1: 87-94.

______ (1989), Cladistics and phylogenetic analysis today, en Fernholm, B. *et al.* (eds.), pp. 17-24.

Pomiankowski, A., Hurst, L.D. (1993), Siberian mice upset Mendel, *Nature* 363: 396-397.

Popper, K.R. (1957a), *The Poverty of Historicism*, Londres, Routledge & Kegan Paul.

______ (1957b), Propensities, probabilities, and the quantum theory, en Miller, D. (ed.) (1985), *Popper Selections*, Princeton, Princeton University Press, pp. 199-206.

______ (1959), *The Logic of Scientific Discovery*, Londres, Hutchinson.

______ (1962), *Conjectures and Refutations*, Nueva York, Basic Books.

______ (1972), *Objective Knowledge*, Oxford, Clarendon Press.

______ (1974), Darwinism as a metaphysical research programme, en Schilpp, P.A. (ed.), *The Philosophy of Karl Popper*, vol. 1, LaSalle, Open Court, pp. 133-143.

______ (1978), Natural selection and the emergence of mind, *Dialectica* 32: 339-355.

______ y Eccles, J.C (1977), *The Self and Its Brain*, Berlín-Heidelberg-Nueva York, Springer.

Portin, P. (1993), The concept of the gene: Short history and present status, *Quarterly Review of Biology* 68:173-223.

Priestley, J. (1776), *Disquisitions Relating to Matter and Spirit*, Nueva York, Arno Press (1975).

Prigogine, I.(1973), In round table with Ilya Prigogine: Can thermodynamics explain biological order?, *Impact of Science on Society* 23:159-179.

Prior, E.W. (1985), What is wrong with etiological accounts of biological function?, *Pacific Philosophical Quarterly* 66: 310-328.

Putnam, H. (1975), *Philosophical Papers*, 2 vols., Cambridge, Cambridge University Press.

______ (1983), *Realism and Reason* (*Philosophical Papers*, vol. 3), Cambridge, Cambridge University Press.

______ (1994), Sense, nonsense, and the senses: An inquiry into the powers of the human Mind, *Journal of Philosophy* 91: 445-517.

Pylyshyn, Z.W. (1984), *Computation and Cognition*, Cambridge, MIT Press.

Raff, R.A., Parr, B.A., Parks, A.L., Wray, G.A. (1990), Heterochrony and other mechanisms of radical evolutionary change in early development, en Nitecki, M. (ed.), pp. 71-98.

Rasmussen, S. (1991), Aspects of information, life, reality, and physics, en Langton, C.G. *et al.* (eds.), pp. 767-773.

Reig, O.A. (1982), The reality of biological species: A conceptualistic and systemic approach, en Cohen, L.J. *et al.* (eds.), *Logic, Methodology, and Philosophy of Science VI*, Amsterdam, North Holland Publishing, pp. 479-499.

Rensch, B. (1971), *Biophilosophy*, Nueva York, Columbia University Press.

Rescher, N. (1987), *Scientific Realism. A Critical Reappraisal*, Dordrecht, Reidel.

Resnik, D. (1994), The rebirth of rational morphology: Process structuralism's philosophy of biology, *Acta Biotheoretica* 42:1-14.

Richardson, R.C., Burian, R.M. (1992), A defense of propensity interpretations of fitness, en Hull, D.L., Forbes, M., Okruhlik, K. (eds.), PSA 1992, vol. 1, pp. 349-362.

Ricklefs, R.E. (1990), *Ecology*, Nueva York, Freeman.

Ridley, M. (1989), The cladistic solution to the species problem, *Biology and Philosophy* 4:1-16.

Riedl, R. (1980), *Biologie der Erkenntnis*, Hamburgo, Paul Parey.

______ y Wuketits, F.M. (eds.) (1987), *Die Evolutionäre Erkenntnistheorie. BedingungenLösungen-Kontroversen*, Berlín, Paul Parey.

Rieger, R., Michaelis, A., Green, M.M. (1991), *Glossary of Genetics and Cytogenetics*, Berlín-Heidelberg-Nueva York, Springer.

Rieppel, O. (1988), *Fundamentals of Comparative Biology*, Basilea, Birkhäuser.

______ (1990), Structuralism, functionalism, and the four Aristotelian causes, *Journal of the History of Biology* 23: 291-320.

Rizzotti, M., Zanardo, A. (1986), Axiomatization of genetics 1. Biological meaning, *Journal of Theoretical Biology* 118: 61-71.

Robinson, A. (1965), *Introduction to Model Theory and to the Metamathematics of Algebra*, Amsterdam, North-Holland Publishing.

Rosenberg, A. (1978), The supervenience of biological concepts, *Philosophy of Science* 45: 368-386.

Rosenberg, A. (1985), *The Structure of Biological Science*, Cambridge, Cambridge University Press.

______ (1987), Why does the nature of species matter? Comments on Ghiselin and Mayr, *Biology and Philosophy* 2:192-197.

______ (1989), From reductionism to instrumentalism?, en Ruse, M. (ed.), pp. 245-262.

______ (1994), *Instrumental Biology or the Disunity of Science*, Chicago, University of Chicago Press.

Rosenblueth, A., Wiener, N., Bigelow, J. (1943), Behavior, purpose, and teleology, *Philosophy of Science* 10:18-24.

Roush, W. (1995), When rigor meets reality, *Science* 269: 313-315.

Ruse, M. (1969), Definitions of species in biology, *British Journal for the Philosophy of Science* 20: 97-119.

______ (1971), Narrative explanation and the theory of evolution, *Canadian Journal of Philosophy* 1: 59-74.

______ (1973), *The Philosophy of Biology*, Londres, Hutchinson University Library.

Ruse, M. (1977), Karl Popper's philosophy of biology, *Philosophy of Science* 44: 638-661.

______ (1981), Species as individuals: Logical, biological, and philosophical problems, *Behavioral and Brain Sciences* 4: 299-300.

______ (1982), Teleology redux, en Agassi, J., Cohen, R.S. (eds.), pp. 299-309.

______ (1986), *Taking Darwin Seriously*, Oxford, Basil Blackwell.

______ (1987), Biological species: Natural kinds, individuals, or what?, *British Journal for the Philosophy of Science* 38: 225-242.

______ (1988), *Philosophy of Biology Today*, Albany, SUNY Press.

______ (ed) (1989), *What the Philosophy of Biology Is*, Dordrecht, Kluwer.

Russell, B. (1918), The philosophy of logical atomism, en Marsh, R.C. (ed.) (1956), *Logic and Knowledge*, Londres, Allen & Unwin, pp. 175-281.

Saarinen, E. (ed.) (1982), *Conceptual Issues in Ecology*, Dordrecht, Reidel.

Salmon, M.H., Earman, J., Glymour, C., Lennox, J.G., Machamer, P., McGuire, J.E., Norton, J.D., Salmon, W.C., Schaffner, K.F. (1992), *Introduction to the Philosophy of Science*, Englewood Cliffs, Prentice Hall.

Salmon, W.C. (1989), Four decades of scientific explanation, en Kitcher, P., Salmon, W.C. (eds.), pp. 3-219.

Salt, G.W. (1979), A comment on the use of the term emergent properties, *American Naturalist* 113:145-148.

Salthe, S.N. (1985), *Evolving Hierarchical Systems*, Nueva York, Columbia University Press.

Sattler, R. (1986), *Biophilosophy*, Berlín-Heidelberg-Nueva York, Springer.

Savage, C.W. (ed.) (1978), *Minnesota Studies in the Philosophy of Science*, vol. 9: *Perception and Cognition. Issues in the Foundations of Psychology*, Minneapolis, University of Minnesota Press.

Schaffner, K.F. (1969), The Watson-Crick model and reductionism, *British Journal for the Philosophy of Science* 20: 325-348.

Schejter, A., Agassi, J. (1982), Molecular phylogenetics: Biological parsimony and methodological extravagance, en Agassi, J., Cohen, R.S. (eds.), pp. 333-356.

Schmitt, M. (1987), 'Ecological Niche' sensu Günther and 'Ecological Licence' sensu Osche - Two valuable but poorly appreciated explanatory concepts, *Zoologische Beiträge* NF 31: 49-60.

Schoener, T.W. (1986), Mechanistic approaches to community ecology: A new reductionism?, *American Zoologist* 26: 81-106.

______ (1989), The ecological Niche, en Cherrett, J.M. (ed.), *Ecological Concepts*, Oxford, Blackwell, pp. 79-113.

Schrödinger, E. (1944), *What Is Life?*, Cambridge, Cambridge University Press.

Schuh, R.T., Slater, J.A. (1995), *True Bugs of the World (Hemiptera: Heteroptera)*, Ithaca, NY, Cornell University Press.

Schwartz, S.S. (1981), Natural kinds, *Behavioral and Brain Sciences* 4: 301-302.

Sellars, W. (1963), *Science, Perception and Reality*, Londres, Routledge & Kegan Paul.

Shrader-Frechette, K.S., McCoy, E.D. (1993), *Method in Ecology: Strategies for Conservation*, Cambridge, Cambridge University Press.

Siegel, H. (1987), *Relativism Refuted: A Critique of Contemporary Epistemological Relativism*. Dordrecht, Reidel.

Simberloff, D. (1982), A succession of paradigms in ecology: Essentialism to materialism to probabilism, en Saarinen, E. (ed.), pp 63-99.

Simon, M.A. (1971), *The Matter of Life. Philosophical Problems of Biology*, New Haven, Yale University Press.

Simpson, G.G. (1953), *The Major Features of Evolution*, Nueva York, Columbia University Press.

______ (1961), *Principles of Animal Taxonomy*, Nueva York, Columbia University Press.

Sites, R.W., Willig, M.R. (1994a), Efficacy of mensural characters in discriminating among species of Naucoridae (Insecta: Hemiptera): Multivariate approaches and ontogenetic perspectives, *Annals of the Entomological Society of America* 87: 803-814.

______ y Willig, M.R. (1994b), Interspecific morphometric affinities in *Ambrysus* (Hemiptera: Naucoridae), *Proceedings of the Entomological Society of Washington* 96: 527-532.

Sklar, A. (1964), On category overlapping in taxonomy, en Gregg, J.R., Harris, F.T.C. (eds.), pp. 395-401.

Slack, J.M.W., Holland, P.W.H., Graham, C.F. (1993), The zootype and the phylotypic stage, *Nature* 361: 490-492.

Sloep, P.B. (1986), Null hypotheses in ecology: Towards the dissolution of a controversy, en Fine, A., Machamer, P. (eds.), PSA 1986, vol. 1, pp. 307-313.

______ y van der Steen, W.J. (1987), The nature of evolutionary theory: The semantic challenge, *Biology and Philosophy* 2:1-15.

Smart, J.J.C. (1963), *Philosophy and Scientific Realism*, Nueva York, Humanities Press.

Smith, K.C. (1992a), The new problem of geneties: A response to Gifford, *Biology and Philosophy* 7: 331-348.

______ (1992b), Neo-rationalism and neo-Darwinism: Integrating development and evolution, *Biology and Philosophy* 7: 431-452.

Sneath, P., Sokal, R.R. (1973), *Numerical Taxonomy*, San Francisco, Freeman.

Sober, E. (1980). Evolution, population thinking, and essentialism, en Sober, E. (ed.) (1994) pp. 161-189.

______ (1981), Evolutionary theory and the ontological status of properties, *Philosophical Studies* 40:147-176.

______ (1982), Why logically equivalent predicates may pick out different properties, *American Philosophical Quarterly* 19:183-189.

______ (1984), *The Nature of Selection. Evolutionary Theory in Philosophical Focus*, Cambridge, MIT Press.

______ (1991), Learning from functionalism - Prospects for strong artificial life, en Langton, C.G. *et al.* (eds.), pp. 749-765.

______ (1992), Screening-off and the units of selection, *Philosophy of Science* 59: 142-152.

______ (1993), *Philosophy of Biology*, Boulder, Westview Press.

______ (ed) (1994), *Conceptual Issues in Evolutionary Biology*, Cambridge, MIT-Press.

______ y Lewontin, R.C. (1982), Artifact, cause and genic selection, *Philosophy of Science* 49:157-180.

Sober, E., Wilson, D.S. (1994), A critical review of philosophical work on the units of selection problem, *Philosophy of Science* 61: 534-555.

Sokal, R.R., Sneath, P. (1963), *Principles of Numerical Taxonomy*, San Francisco, Freeman.

Solbrig, O.T., Solbrig, D.J. (1979), *Introduction to Population Biology and Evolution*, Reading, Addison-Wesley.

Sommerhoff, G. (1950), *Analytical Biology*, Londres, Oxford University Press.

Splitter, L.J. (1988), Species and identity, *Philosophy of Science* 55: 323-348.

Stent, G.S. (1981), Strength and weakness of the genetic approach to the development of the nervous system, en Cowan, W.M. (ed.), *Studies in Developmental Neurobiology*, Nueva York, Oxford University Press, pp. 288-321.

Sterelny, K. (1995), Understanding life: Recent work in philosophy of biology, *British Journal for the Philosophy of Science* 46:155-183.

Sterelny, K., Kitcher, P. (1988), The return of the gene, *Journal of Philosophy* 85: 339-361.

______, Smith, K.C., Dickinson, M. (1996), The extended replicator, *Biology and Philosophy* 11: 377-403.

Stidd, B.M., Wade, D.L. (1995), Is species selection dependent upon emergent characters?, *Biology and Philosophy* 10: 55-76.

Strong, D.R. (1982), Null hypotheses in ecology, en Saarinen, E. (ed.), pp. 245-259.

Sudhaus, W., Rehfeld, K. (1992), Einführung in die Phylogenetik und Systematik, Stuttgart, Gustav Fischer.

Suppe, F. (1972), What's wrong with the received view on the structure of scientific theories, *Philosophy of Science* 39:1-19.

______ (ed.) (1974), *The Structure of Scientific Theories*, Urbana, University of Illinois Press.

______ (1989), *The Semantic Conception of Theories and Scientific Realism*, Urbana, University of Illinois Press,

Suppes, P. (1957), *Introduction to Logic*, Nueva York, Van Nostrand Reinhoid.

______ (1961), A comparison of the meaning and uses of models in mathematics and the empirical sciences, en Freudenthal, H. (ed.), *The Concept and the Role of the Model in Mathematics and Natural and Social Sciences*, Dordrecht, Reidel, pp. 163-177.

Tabony, J. (1994), Morphological bifurcations involving reaction-diffusion processes during microtubule formation, *Science* 264: 245-248.

Tarski, A. (1953), A general method in proofs of undecidability, en Tarski, A., Mostowski, A., Robinson, R.M., *Undecidable Theories*, Amsterdam, North-Holland Publishing, pp. 1-36.

______ (1954-55), *Contributions to the Theory of Models*, Proceedings of the Academy of Sciences of the Netherlands, serie A, 57: 572-588; 58: 56-64.

Taylor, P. (1992), Community, en Keller, E.F., Lloyd. E.A. (eds.), pp. 52-60.

Teilhard de Chardin, P. (1964), *The Phenomenon of Man*, Nueva York, Harner.

Theiss, J., Prager, J., Streng, R. (1983), Underwater stridulation by corixids. Stridulatory signals and sound-producing mechanism in *Corixa dentipes* and *Corixa punctata*, *Journal of Insect Physiology* 29: 761-771.

Thom, R. (1972), *Stabilité structurelle et morphogenèse*, Reading, W.A. Benjamin.

______ (1983), *Mathematical Models of Morphogenesis*, Chichester, Ellis Horwood.

Thompson, D'A.W. (1917), *On Growth and Form*, Cambridge, Cambridge University Press.

Thompson, P. (1983), The structure of evolutionary theory: A semantic approach, *Studies in History and Philosophy of Science* 14: 215-229.

______ (1987), A defense of the semantic conception of evolutionary theory, *Biology and Philosophy* 2: 26-32.
______ (1989), *The Structure of Biological Theories*, Albany, SUNY Press.
Thomson, K.S. (1988), *Morphogenesis and Evolution*, Nueva York, Oxford University Press.
Thorpe, N.O. (1984), *Cell Biology*, Nueva York, Wiley.
Travisano, M., Mongoid, J.A., Bennett, A.F., Lenski, R.E. (1995), Experimental tests of the roles of adaptation, chance, and history in evolution, *Science* 267: 87-90.
Truesdell, C. (1982), Our debt to the French tradition: "Catastrophes" and our search for structure today, *Scientia* 76: 63-77.
______ (1984), *An Idiot's Fugitive Essays on Science*, Berlín-Heidelberg-Nueva York, Springer.
Tuomi, J. (1981), Structure and dynamics of Darwinian evolutionary theory, *Systematic Zoology* 30: 22-31.
______ (1992), Evolutionary synthesis: A search for the strategy, *Philosophy of Science* 59: 429-438.
Tuomivaara, T. (1994), On idealization in ecology, en Kuokkanen, M. (ed.), *Idealization VII: Structuralism, Idealization and Approximation*, Amsterdam, Rodopi, pp. 217-241.
van Brakel, J. (1992), Natural kinds and manifest forms of life, *Dialectica* 46: 243-261.
van der Steen, W.J. (1983), Methodological problems in evolutionary biology. 1. Testability and tautologies, *Acta Biotheoretica* 32: 207-215.
______ (1991), Natural selection as natural history, *Biology and Philosophy* 6: 41-44.
______ (1993), *A Practical Philosophy for the Life Sciences*, Albany, SUNY Press.
______ (1994), New ways to look at fitness, *History and Philosophy of the Life Sciences* 16: 479-492.
______ (1996), Discussion: Screening-off and natural selection, *Philosophy of Science* 63:115-121.
______ y Kamminga, H. (1991), Laws and natural history in biology, *British Journal for the Philosophy of Science* 42: 445-467.
van der Steen, W.J., Voorzanger, B. (1986), Methodological problems in evolutionary biology. VII. The species plague, *Acta Biotheoretica* 35: 205-221.
van der Weele, C. (1993), Metaphors and the privileging of causes. The place of environmental influences in explanations of development, *Acta Biotheoretica* 41: 315-327.
van Fraassen, B.C. (1972), A formal approach to the philosophy of science, en Colodny, R.G. (ed.), *Paradigms & Paradoxes*, Pittsburgh, University of Pittsburgh Press, pp. 303-366.
______ (1980), *The Scientific Image*, Oxford, Clarendon Press.
Van Valen, L. (1976a), Individualistic classes, *Philosophy of Science* 43: 539-541.
______ (1976b), Domains, deduction, the predictive method, and Darwin, *Evolutionary Theory* 1: 231-245.
______ (1976c), Ecological species, multispecies, and oaks, *Taxon* 25: 233-239.
Varela, F.J., Maturana, H.R., Uribe, R. (1974), Autopoiesis: The organization of living systems, its characterization and a model, *BioSystems* 5:187-196.
Vollmer G (1975) *Evolutionäre Erkenntnistheorie*, Stuttgart, Hirzel.
______ (1983), Mesocosm and objective knowledge - On problems solved by evolutionary epistemology, en Wuketits, F.M. (ed.), *Concepts and Approaches in Evolutionary Epistemology*, Dordrecht, Reidel, pp. 69-121.
______ (1985), *Was können wir wissen?*, 2 vols., Stuttgart, Hirzel.
______ (1987a), What evolutionary epistemology is not, en Callebaut, W., Pinxten, R. (eds.), *Evolutionary Epistemology: A Multiparadigm Program*, Dordrecht, Reidel, pp. 203-221.

______ (1987b), The status of the theory of evolution in the philosophy of science, en Andersen, S., Peacocke, A. (eds.), *Evolution and Creation*, Århus, Århus University Press, pp. 70-77.

______ (1989) The concept of evolution as a synthetic tool in science. Its strengths and limits, en Koch, W.A. (ed.), *The Nature of Culture*, Bochum, Brockmeyer, pp. 500-520.

______ (1990), Against instrumentalism, en Weingartner, P., Dom, G.J.W. (eds.), pp. 245-259.

______ (1995), *Biophilosophie*, Stuttgart, Reclam.

von Bertalanffy, L. (1952), *Problems of Life*, Nueva York, Harper.

______ (1968), *General Systems Theory*, Nueva York, Braziller.

von Helmholtz, H. (1873), *Popular Lectures on Scientific Subjects*, Londres, Longmans, Green.

Vrba, E.S. (1984), What is species selection?, *Systematic Zoology* 33: 318-328.

______ (ed.) (1985), *Species and Speciation*, Pretoria, Transvaal Museum (Transvaal Museum Monograph núm. 4).

______ y Eldredge, N. (1984), Individuals, hierarchies and processes: Towards a more complete evolutionary theory, *Paleobiology* 10:146-171.

______ y Gould, S.J. (1986), The hierarchical expansion of sorting and selection: Sorting and selection cannot be equated, *Paleobiology* 12: 217-228.

Wachbroit, R. (1994), Normality as a biological concept, *Philosophy of Science* 61: 579-591.

Waddington, C.H. (1970), Concepts and theories of growth, development, differentiation and morphogenesis, en Waddington, C.H. (ed.), *Towards a Theoretical Riology*, vol. 3, Chicago, Aldine, pp. 177-197.

Wägele, J.W. (1994), Review of methodological problems of 'computer cladisties' exemplified with a case study on isopod phylogeny (Crustacea: Isopoda), *Zeitschrift für zoologische Systematik und Evolutionsforschung* 32: 81-107.

______ y Wetzel, R. (1994), Nucleic acid sequence data are not *per se* reliable for inference of phylogenies, *Journal of Natural History* 28: 749-761.

Walker, B. (1985), Can ecosystems evolve or are they merely epiphenomena?, en Vrba, E.S. (ed.), pp. 173-176.

Walton, D. (1991), The units of selection and the rases of selection, *Philosophy of Science* 58: 417-435.

Warren, M.A. (1983), The rights of the nonhuman world, en Hargrove, E.C. (ed.) (1992), pp. 185-210.

Wassermann, G.D. (1981), On the nature of the theory of evolution, *Philosophy of Science* 48: 416-437.

Waters, C.K. (1994), Genes made molecular, *Philosophy of Science* 61:163-185.

Webster, G. (1984), The relations of natural forms, en Ho, M-W, Saunders, P.T. (eds.), pp. 193-217.

______ (1993), Causes, kinds and forms, *Acta Biotheoretica* 41: 275-287.

______ y Goodwin, B.C. (1982), The origin of species: A structuralist approach, *Journal of Social and Biological Structures* 5:15-47.

Weingartner, P. (1990), The non-statement view. A dialogue between Socrates and Theaetetus, en Weingartner, P., Dom, G.J.W. (eds.), pp. 455-465.

______ y Dorn, G.J.W. (eds.) (1990), *Studies on Mario Bunge's Treatise*, Amsterdam, Rodopi.

Weiss, P.A. (1970), Whither life science?, *American Scientist* 58:156-163.

______ (1973), *The Science of Life: The Living System - A System for Living*, Mount Kisco, Futura Publishing.

Wessells, N.K. (1982), A catalogue of processes responsible for metazoan morphogenesis, en Bonner, J.T. (ed.), pp. 115-154.

West-Eberhard, M.J. (1992), Adaptation - current usages, en Keller, E.F., Lloyd, E.A. (eds.), pp. 13-18.

Weston, T. (1992), Approximate truth and scientific realism, *Philosophy of Science* 59: 53-74.

Whewell, W. (1847), *Philosophy of the Inductive Sciences*, 2 vols., Nueva York, Johnson Reprint (1967).

Whitehead, A.N. (1929), *Process and Reality*, Nueva York, Macmillan (1969).

Wiley, E.O. (1975), Karl. R. Popper, systematics, and classification: A reply to Walter Bock and other evolutionary taxonomists, *Systematic Zoology* 24: 233-243.

______ (1978), The evolutionary species concept reconsidered, *Systematic Zoology* 27:17-26.

______ (1980), Is the evolutionary species fiction? - A consideration of classes, individuals, and historical entities, *Systematic Zoology* 29: 76-80.

______ (1981), *Phylogenetics. The Theory and Practice of Phylogenetic Systematics*, Nueva York, Wiley.

______ (1989), Kinds, Individuals, and theories, en Ruse, M. (ed.) (1989), pp. 289-300.

Wilkerson, T.E. (1993), Species, essences and the names of natural kinds, *Philosophical Quarterly* 43(170): 1-19.

Williams, G.C. (1966), *Adaptation and Natural Selection*, Princeton, Princeton University Press.

______ (1992a), *Natural Selection. Domains, Levels, Challenges*, Nueva York, Oxford University Press.

______ (1992b), GAIA, Nature worship and biocentric fallacies, *Quarterly Review of Biology* 67: 479-486.

Williams, M.B. (1970), Deducing the consequences of evolution, *Journal of Theoretical Biology* 29: 343-385.

______ (1973a), The logical status of the theory of natural selection and other evolutionary controversies, en Bunge, M. (ed.), pp. 84-102.

______ (1973b), Falsifiable predictions of evolutionary theory, *Philosophy of Science* 40: 518-537.

______ (1981), Similarities and differences between evolutionary theory and the theories of physics, en Asquith, P.D., Giere, R.N. (eds.), pp. 385-396.

______ (1985), Species are individuals: Theoretical foundations for the claim, *Philosophy of Science* 52: 578-590.

______ (1986), The logical skeleton of Darwin's historical methodology, en Fine, A., Machamer, P. (eds.), PSA 1986, vol. 1, pp. 514-521.

Williams, P.A. (1992), Confusion in cladism, *Synthese* 91:135-152.

Willmann, R. (1985), *Die Art in Raum und Zeit*, Berlín, Paul Parey.

Wilson, B.E. (1995), A (not-so-radical) solution to the species problem, *Biology and Philosophy* 10: 339-356.

Wilson, D.S. (1989), Levels of selection: An alternative to individualism in biology and the human sciences, en Sober, E. (ed.) (1994), pp. 143-154.

______ y Sober, E. (1989), Reviving the superorganism, *Journal of theoretical Biology* 136: 337-356.

Wimsatt, W.C. (1972), Teleology and the logical structure of function statements, *Studies in History and Philosophy of Science* 3:1-8.

______ (1982a), Reductionistic research strategies and their biases in the units of selection controversy, en Saarinen, E. (ed.), pp. 155-201.

_____ (1982b), Randomness and perceived-randomness in evolutionary biology, en Saarinen, E. (ed.), pp. 279-322.

_____ (1986), Developmental constraints, generative entrenchment, and the innate-acquired distinction, en Bechtel, W. (ed.), pp. 185-208.

Wittgenstein, L. (1922), *Tractatus Logico-Philosophicus*, Londres, Routledge & Kegan Paul (1951).

Wolff, C. (1740), Philosophia rationalis sive logica, parte II, en École, J. (ed.), Hildesheim Georg Olms (1983).

Wolpert, L. (1991), *The Triumph of the Embryo*, Oxford , Oxford University Press.

Woodfield, A. (1976), *Teleology*, Cambridge , Cambridge University Press.

Woodger, J.H. (1929), *Biological Principies*, Londres, Routledge & Kegan Paul, Nueva York, Humanities Press (1967).

_____ (1952), *Biology and Language*, Cambridge, Cambridge University Press.

Woodward, J. (1989), The causal mechanical model of explanation, en Kitcher, P., Salmon, W.C. (eds.), pp. 357-383.

Wouters, A. (1995), Viability explanation, *Biology and Philosophy* 10: 435-457.

Wright, L. (1973), Functions, *Philosophical Review* 82:139-168.

_____ (1976), *Teleological Explanations*, Berkeley, University of California Press.

Wuketits, F.M. (1983), *Biologische Erkenntnis: Grundlägen und Probleme*, Stuttgart, Gustav Fischer.

_____ (1989), Organisms, vital forces, and machines: Classical controversies and the contemporary discussion 'reductionism vs. holism', en Hoyningen-Huene, P., Wuketits, F.M. (eds.), pp. 3-28.

Young, R.A. (1993), On the necessity of an archetypical concept in morphology: With special reference to the concepts of "structure" and "homology", *Biology and Philosophy* 8: 225-248.

Zanardo, A., Rizzotti, M. (1986), Axiomatization of genetics 2. Formal development, *Journal of theoretical Biology* 118:145-152.

Zandee, M., Geesink, R. (1987), Phylogenetics and legumes: A desire for the impossible?, en Stirton, C.H. (ed.), *Advances in Legume Systematics*, parte 3, Kew, Royal Botanic Gardens, pp. 131-167.

Zeki, S. (1993), *A Vision of the Brain*, Oxford, Blackwell.

Zylstra, U. (1992), Living things as hierarchically organized structures, *Synthese* 91: 111-133.

ÍNDICE ONOMÁSTICO

ÍNDICE DE MATERIAS

tipografía: delegraf, s.a.
impreso en castillo hermanos, s.a.
camelia 4, col. el manto
iztapalapa - méxico, d.f.
dos mil ejemplares y sobrantes
6 de noviembre de 2000

"Una obra importante."

J.S. Robert, en *Biology and Philosophy*

"Éste es un libro extremadamente valioso, lúcido y estimulante. Sus autores han establecido el estándar de la biofilosofía."

E. Szathmáry, en *Trends in Ecology & Evolution*

"Desafiante y esclarecedor [...] merece la atención de biólogos y filósofos de la biología, y se transformará en una herramienta imprescindible a la hora de integrar el conocimiento de las ciencias da la vida."

L. Marone, *Revista Chilena de Historia Natural*

"Quien no tiene problemas o no los ve, no necesita este libro. En cambio, quien busca ayuda en medio de debates casi interminables acerca de significados y verdades, ganará mucho con él."

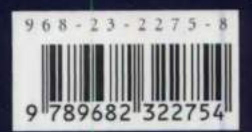
G. Vollmer, en *Naturwissenschaften*

Durante los últimos treinta años, la filosofía de la biología ha surgido de la sombra de la filosofía de la física para convertirse en una subdisciplina respetable y próspera de la filosofía.

En este libro, sus autores adoptan una nueva mirada hacia las ciencias de la vida y hacia su filosofía desde una perspectiva naturalista-emergentista y estrictamente realista. Configuran un marco filosófico unificado, orientado a la ciencia, que les permite aclarar muchos aspectos filosóficos fundacionales de la biología.






968-23-2275-8
9 789682 322754